



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

Influencia de los niveles de iluminación en el gabinete optométrico en los resultados de la medida de la Agudeza Visual

Manel Larrosa Expósito

DIRECTOR: José Luis Alvarez Muñoz

07/05/2014



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. **JOSÉ LUIS ALVAREZ MUÑOZ** com a director/a del treball

CERTIFICA

Que el Sr **MANEL LARROSA EXPÓSITO** ha realitzat sota la seva supervisió el treball **Influencia de los niveles de iluminación en el gabinete optométrico en los resultados de la medida de la Agudeza Visual** que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo aquest certificat.



Sr. JOSÉ LUIS ALVAREZ MUÑOZ
Director del treball

Terrassa, 5 de maig de 2015



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Influencia de los niveles de iluminación en el gabinete optométrico en los resultados de la medida de la Agudeza Visual

RESUMEN

La agudeza visual se define como la capacidad para ver dos objetos próximos como separados. Su medida, es una prueba optométrica clave para el buen diagnóstico y posterior tratamiento de cualquier paciente durante la práctica clínica diaria.

En este trabajo se estudia cómo afectan algunos factores físicos (iluminación ambiental, luminancia de fondo y contraste del optotipo) a la medida de la AV binocular y en visión de lejos.

Para la realización del estudio se ha utilizado el “CLandolt”, un programa informático que permite medir la AV bajo diferentes condiciones de contraste y luminancias.

Se ha escogido una muestra de 14 sujetos de una edad comprendida entre 17 y 24 años (exceptuando un varón de 49).

Las medidas de AV se han realizado para dos condiciones de iluminación ambiental: la de nivel máximo (lámparas del techo encendidas) y mínimo (lámparas del techo apagadas). Se realizaron las medidas para cuatro niveles de contraste del optotipo ($C = 1, 0.75, 0.50$ y 0.25) y para tres luminancias de fondo ($L = 140, 80$ y 40 cd/m^2).

A partir del análisis estadístico de los resultados obtenidos, tenemos que todos los factores estudiados condicionan la medida de la AV. El factor más significativo es el contraste del optotipo, mientras que la luminancia de fondo y la iluminación ambiental parecen no ser tan determinantes.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

Influencia de los niveles de iluminación en el gabinete optométrico en los resultados de la medida de la Agudeza Visual

RESUM

La agudeza visual es defineix com la capacitat per veure dos objectes pròxims com a separats. La seva mesura, és una prova optomètrica clau per al bon diagnòstic i posterior tractament de qualsevol pacient durant la pràctica clínica diària.

En aquest treball s'estudia com afecten alguns factors físics (il·luminació ambiental, luminància de fons i contrast de l'optotip) a la mesura de la AV binocular i en visió de lluny.

Per a la realització de l'estudi s'ha utilitzat el "CLandolt", un programa informàtic que permet mesurar la AV sota diferents condicions de contrast i luminància.

S'ha escollit una mostra de 14 subjectes d'una edat compresa entre 17 i 24 anys (exceptuant un home de 49).

Les mesures de la AV s'han realitzat per dos condicions d'il·luminació ambiental: la de nivell màxim (llums del sostre enceses) i mínim (llums del sostre apagades). Es van realitzar les mesures per a quatre nivells de contrast del optotip ($C = 1, 0.75, 0.50$ i 0.25) i per a tres luminàncies de fons ($L = 140, 80$ i 40 cd/m^2).

A partir de l'anàlisi estadístic dels resultats obtinguts, tenim que tots els factors estudiats condicionen la mesura de la AV. El factor més significatiu és el contrast del optotip, deixant a la luminància de fons i a la il·luminació ambiental un paper menys rellevant.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Influencia de los niveles de iluminación en el gabinete optométrico en los resultados de la medida de la Agudeza Visual

SUMMARY

Visual acuity is defined as the ability to view two nearby objects as separate. Its measurement is key to make a good diagnosis and a subsequent treatment of any patient during the optometric clinical practice.

In this essay we studied how some physical factors (room illumination, luminance of the background and contrast) can affect the measure of binocular visual acuity in far vision.

To carry out the study it has been used the “CLandolt”, a computer program that allows measuring the visual acuity under different contrast and luminance conditions.

We have selected a sample of 14 subjects between 17 and 24 years (except one male of 49).

The test has been carried out in two room illumination conditions: the maximum (with the lights on) and minimum (with the lights off). The measures have been performed for four contrasts of the optotype ($C = 1, 0.75, 0.50$ and 0.25) and for three background luminances ($L = 140, 80$ and 40 cd/m^2).

In view of the statistical analysis of the results, we found that all the factors studied during this essay have effects in the measure of visual acuity. The more significant factor is contrast, and it seems that the luminance of background and room illumination have less effect in the measure.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Influencia de los niveles de iluminación en el gabinete optométrico en los resultados de la medida de la Agudeza Visual

SUMMARY

Visual acuity is defined as the ability to see two nearby objects as separate. Its measurement is key to make a good diagnosis and subsequent treatment of any patient during the optometric clinical practice. This measure is determined by physical, physiological and psychological factors.

In this essay, we studied how some physical factors (room illumination, contrast and background luminance of the optotype) can affect the measure of binocular visual acuity in far vision.

To carry out the study it has been used the “CLandolt”, a computer program that allows measuring the visual acuity under different contrast and luminance conditions.

We have selected a sample of 14 subjects between 17 and 24 years (except one male of 49).

The test has been carried out in two room illumination conditions: the maximum (with the lights on) and minimum (with the lights off). The measures have been performed for four contrasts of the optotype ($C = 1, 0.75, 0.50$ and 0.25) and for three background luminances ($L = 140, 80$ and 40 cd/m^2).

In view of the statistical analysis of the results, we found that all the factors studied during this essay have effects in the measure of visual acuity. The more significant

factor is contrast, and it seems that the luminance of background and room illumination have less effect in the measure.

CLANDOLT PROGRAM

The computer program (which we called CLandolt) was created from Visual Basic. We designed the characteristics and functions of the program and then, a computer expert done the software.

Program features:

- It shows a single optotype in the middle of the screen.
- There are 8 possible directions of the optotype.
- The direction is always selected at random.
- We can measure visual acuity from 0.1 to 2.
- The program has 16 different gray levels for the optotype and the background, so we can make a wide range of contrast.

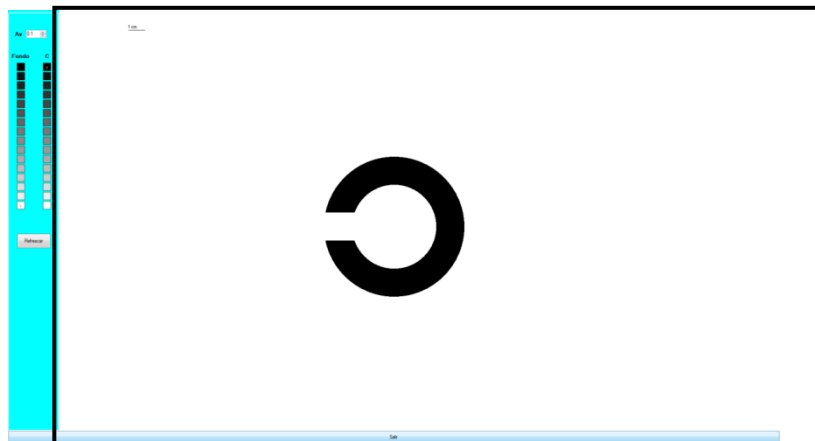


Figure 1. Interface of the program CLandolt. The optotype is showed in the middle of the screen and in the left side we have the program controllers.

Before making the visual acuity measures to the subjects, we carried out a study of the optotypes, with the objective of having them characterized and check if they are reasonably similar to the design values. First of all, we calculated the real visual acuity from taking measures directly from de screen. We found that from visual acuity 1.5, we have slightly altered the visualization of the optotypes. This fact is essentially due to the resolution of the screen (for highest visual acuity optotypes we need a highest resolution) .

AV	AV real
1,5	1,54
1,6	1,69
1,7	1,69
1,8	1,87
1,9	1,87
2	2,09

Table 1. Visual acuity vs real visual acuity. For lower values of visual acuity we have a very similar real visual acuity (with variations of 0.03 or less).

In addition, we carried out the measure of all the gray levels luminance so we could calculate all the possible contrast combinations for both room illumination.

METHODOLOGY

The final sample had 14 subjects, 10 men and 4 women, with ages between 17 and 24 years (except a man of 49). The sample was divided in two groups (A and B), group A performed the measures with the maximum room illumination first. The other group started the measures in the reverse order (minimum room illumination first). The objectives of split the sample in two groups is to determine if the order of the visual acuity measure in different room illumination conditions is affecting the results.

The subjects were evaluated by pairs and the measures were carried out in turns.

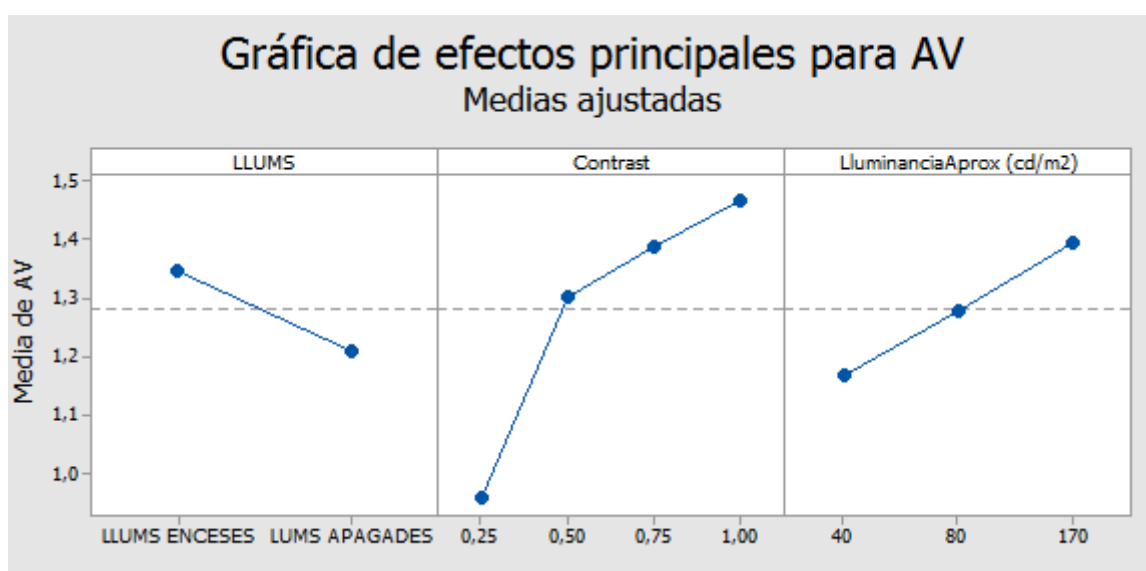
Time	Patient A	Patient B
15 minutes	While the patients wait in the corridor, the examiner prepares the laboratory to make the measures. Then, explain to the patients the test.	
20 minutes	Measures of visual acuity for the first room illumination condition	Rest in the corridor
20 minutes	Rest in the corridor	Measures of visual acuity for the first room illumination condition
20 minutes	Measures of visual acuity for the second room illumination condition	Rest in the corridor
20 minutes	Rest in the corridor	Measures of visual acuity for the second room illumination condition
TOTAL = 1h and 35 minutes		

Table 2. Routine used for making the measures in the study.

RESULTS

Source	GL	SC Ajust	MC Ajust	F value	p-value
Room illumination	1	1,713	1,71324	28,02	<0,001
Contrast	3	12,547	4,18229	68,41	<0,001
Luminance	2	2,353	1,17652	19,24	<0,001

Table 3. Results of apply a statistical analysis method called ANOVA to the measures of our essay. The p-value indicates if the factors are affecting in the measure of visual acuity. For p-values under 0.05, we can affirm that the factor with this p-value has effects on the measure of the visual acuity. As we can see in this table, all the factors studied in this essay are statistically affecting in the measure.



Graphic 1. Graphic of interaction between two factors (contrast and luminance) in the measure of visual acuity.

Finally, during the analysis of the group factor (to determine if the order in which the test was performed is conditioning the results), we concluded that the results are not statistically reliable. In statistics this term is called confusion.

CONCLUSIONS

Considering a sample of 14 observers with their usual optical prescription in their glasses, we analyze the effect of room illumination, contrast and luminance of the background in the measure of far vision binocular visual acuity. We find that:

We find better measures of visual acuity with the maximum illumination condition (average of 1.36) compared to the values obtained in minimum illumination condition (average of 1.21). The difference of the measure between this two conditions seems to not be too critical (is only



0.147).

We find better measures of visual acuity with high contrast values (VA average of 1.49, 1.39, 1.3 and 0.96 for contrasts of 1, 0.75, 0.50 and 0.25 respectively). Unlike the room illumination, the contrast conditions affects more in the measure of VA, the change in the measure is 0.53 for contrasts between 0.25 and 1 (average VA goes from 1.49 to 0.96). Our results indicate a critical decrease of the measure of VA when the Landolt C optotype has a contrast of 0.50 or less.

For the background luminance, we found that the measure of VA increases with highest levels of background luminance (VA average of 1.18, 1.28 and 1.39 for background luminance of 40, 80 and 170 cd / m² respectively). We see that for this factor, going from a low background luminance to average (from 40 to 80 cd / m²) we have a variation of the AV measure of 0.096, while if we going from an average to high (80 to 170 cd / m²) the variation is very similar (of 0.117) although in the first comparison there are a difference of 40 cd / m², and in the second we have a difference of 90 cd / m², indicating that the measurement of visual acuity is conditioned more significantly for low-level background.

Finally, we studied the variation of the measures of VA using different background luminance levels maintaining fixed the contrast. We find that VA increases when we increased background luminance, for all levels of contrast. To contrasts 1, 0.50 and 0.75 we find that the increase is always higher in the variation from a low background luminance to half, compared to the increase obtained from one medium to high. Furthermore the difference between these increases appears to be declining as the contrast is decreased. However, with contrast 0.25 we find a high increase of the measure when we used a high luminance of background level (AV increases in 0.19). This phenomenon may indicate that for low levels of contrasts, a high luminance background plays a decisive role in the vision of the observer, helping in determining the orientation of the Landolt C.

During the study, we found that there have been some VA results that are quite high. This phenomenon may be due to several factors, or the sum of several of them:

1. The majority of the sample (13 of 14) are very young (between 17 and 24 years). We know that age is a physiological factor that determines the VA.
2. We have studied the binocular visual acuity. We know that in this condition we have a 5-10% more VA compared with monocular vision.

3. The crowding effect: Visual acuity measured with isolated optotypes is higher than when we use a row of letters in a chart).

4. Learning effect. Although the study tries to prevent this effect by performing a measure of VA before starting the test, it is possible learning effect is affecting the measure because it's very repetitive.

As a final conclusion, we remember that the VA is an own capacity of each person, with a value determined by factors such as density of photoreceptors, age, right neural functioning, etc. The measure of VA, however, hasn't got an only one true value, since it depends on many factors and very diverse, carrying on each measurement under some particular physical, physiological and psychological conditions. Many of these physical factors are related to the photometric characteristics of optometric room where the measurement is taken, therefore, and based on the results of the study, we need to consider during clinical practice that there can be variations in the measure of VA only by the factor that the measure has been taken in different cabinets, which we don't know under what conditions the measurement was made.

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer a las personas que han estado a mi lado durante mi experiencia como estudiante universitario y dedicarles este trabajo.

Especial dedicación a:

A mi familia, por el cariño y apoyo que me brindan a diario y haberme aconsejado en todos los pasos que he decidido tomar durante mi vida.

A mi pareja sentimental, por el apoyo incondicional que me ha ayudado a seguir en los momentos más difíciles.

A mi compañero y gran amigo Kiko Egea, por la ayuda desinteresada en la elaboración del programa informático utilizado en el estudio.

A mi profesor y tutor, José Luis Alvarez, por guiarme en este laberinto que supone elaborar un trabajo de fin de grado desde cero y ofrecerme su ayuda siempre que la he necesitado.

A mi profesora Rosa Borrás, que pese no haber podido participar durante la elaboración del trabajo, su ayuda fue muy importante durante el diseño del mismo.

A mi profesor Miquel Ralló, por la importantísima ayuda ofrecida en el apartado del análisis estadístico.

A mis amigos de toda la vida y a los que he conocido durante el grado, por hacer que estos cinco años como estudiante universitario hayan sido maravillosos.



ÍNDICE	<u>pág.</u>
Introducción	15
Marco teórico	15
Agudeza visual	15
Magnitudes fotométricas	16
Cambios fisiológicos en el sistema visual al variar la iluminación	17
Hipótesis	19
Objetivos	19
Condiciones lumínicas	19
Programa informático CLandolt	20
Origen	20
Función	20
Características	20
Estudio de los optotipos	21
Cálculo de la AV real	22
Medida de la luminancia de cada nivel de gris	30
Diseño de la prueba optométrica	32
Metodología	34
Participantes	34
Material	34
Protocolo de adaptación a la luz/oscuridad	34
Procedimiento	35
Medidas de AV obtenidas	36
Tratamiento de datos y resultados	37
Variables del estudio	37
Técnica de análisis	37

Resultados análisis	38
Discusión-conclusión	47
Estudios futuros	49
Implicaciones éticas, legales y de protección de datos	49
Bibliografía	51
Anexos	54
Anexo A: Instrucciones de uso del programa CLandolt	56
Anexo B: Plantilla resultados	57
Anexo C: Datos analizados con minitab	58

INTRODUCCIÓN

Durante la examinación de la AV en visión de lejos de un paciente, es bien sabido que se debe emplear una iluminación ambiental reducida, sin embargo, no hay especificado un nivel concreto, dejando este parámetro a criterio del optometrista que realice la medida.

En la normativa BS 4274-1 2003 se establecen valores recomendados para los niveles de luminancia y contraste de la carta de optotipos ($L_{\min}= 120 \text{ cd/m}^2$ y $C_{\min}= 0,9$), no obstante, no se especifican recomendaciones en cuanto a la iluminación ambiental, pese a ser un parámetro importante, a priori, en la medida de la AV.

Sabemos que la iluminación ambiental juega un papel muy importante en la visión ya que produce cambios tanto en las características visuales de los estímulos (luminancia y contraste principalmente) como en el sistema visual del propio observador (diámetro pupilar, aparición de miopía nocturna, etc.).

En este estudio se pretende estudiar la relación entre los resultados de la medida de la AV binocular y en visión de lejos con el nivel de iluminación ambiental de la sala, mediante el uso de un programa informático diseñado por nosotros. Además se estudiará si la medida está condicionada con otras variables como el contraste, la luminancia de fondo del optotipo y el orden en el cual se realicen las pruebas.

MARCO TEÓRICO

Agudeza visual

La agudeza visual se define como el poder de resolución del ojo o la capacidad para ver dos objetos próximos como separados. A menudo, dicha capacidad es denominada mínimo separable (¹Grosvenor, 2004).

La AV es la capacidad de percibir y diferenciar dos estímulos separados por un ángulo determinado (α), o dicho de otra manera es la capacidad de resolución espacial del sistema visual. Matemáticamente la AV se define como la inversa del ángulo con el que se resuelve el objeto más pequeño identificado:

$$AV = \frac{1}{\alpha}$$

Desde el punto de vista teórico la máxima AV del ojo se situaría en torno a valores angulares de 0,5 minutos de arco (AV de 2,0 en escala Snellen), para diámetros pupilares de 2,0 mm, un mosaico de receptores de diámetro en torno a 1,5 micras por cono y una distancia nodal del ojo de 16,67mm (distancia entre el punto nodal imagen y retina). Sin embargo, la AV clínicamente aceptada se sitúa entorno a la unidad ($AV=1$) por la influencia de diferentes factores, tanto físicos como fisiológicos y psicológicos.

Factores físicos:

- De la sala: Iluminación.
- De los optotipos: Luminancia, color, contraste, tipografía y distancia al sujeto.
- Del ojo: Tamaño y difracción pupilar, ametropía y aberraciones ópticas.
- Tiempo de exposición.

Factores fisiológicos:

- Densidad o disposición de los fotorreceptores.
- Excentricidad de la fijación: La AV es máxima en la fóvea y disminuye a medida que se estimula retina más periférica.
- Motilidad ocular: La estabilidad de la imagen retiniana es función de la calidad de los micromovimientos sacádicos de los ojos.
- Edad del sujeto: La AV es muy baja al nacer y mejora con la edad para estabilizarse y decaer lentamente a partir de los 40-45 años.
- Monocularidad/binocularidad: La AV binocular es normalmente entre el 5 y 10% mayor que la monocular.
- Efecto de medicamentos: midriáticos, mióticos, ciclopéjicos.
- Algunas enfermedades oculares o sistémicas pueden afectar a la AV: queratoconjuntivitis, diabetes mellitus, etc.
- Factores neuronales: transmisión de la información a través de la vía visual, grado de desarrollo de la corteza visual, etc.

Factores psicológicos:

- Experiencias previas con la prueba.
- Fatiga física o psíquica.
- Motivación/aburrimiento, sobretodo en niños.

Por último, comentar que ha sido demostrado que la agudeza visual ante optotipos aislados es mayor que en una fila de letras. Este fenómeno parece ser propio de las características del estímulo más que del procesamiento neuronal y recibe el nombre de amontonamiento de las letras o “crowding effect” (²Hess, Dakin, Kapoor, 2000).

Magnitudes fotométricas

Se describe a continuación las magnitudes fotométricas que han sido utilizadas durante la realización del estudio.

Iluminación o iluminancia

Se define iluminación o iluminancia E como el flujo luminoso que incide sobre la unidad de superficie. La unidad de iluminación en el sistema internacional es el lux (lx) (³Sagrario, Escofet, Pérez. 2003)

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

Luminancia

Esta magnitud fotométrica adquiere gran importancia por ser la variable que aprecia el ojo cuando observa fuentes extensas. En general, La luminancia L se define como la intensidad emitida por unidad de superficie, tomando la superficie emisora perpendicular a la dirección de propagación. La unidad de la luminancia en el SI es el nit (nt). (³Sagrario, Escofet, Pérez. 2003).

$$1 \text{ nt} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$$

Contraste

Típicamente, el contraste se define como la diferencia relativa entre la luminancia de un objeto, L_O , y la luminancia circundante del fondo, L_B . (⁴Perales, Campilho, de la Blanca, Sanfeliu. 2003).

$$C = \frac{L_{\text{fondo}} - L_{\text{detalle}}}{L_{\text{fondo}}}$$

Cambios fisiológicos en el sistema visual al variar la iluminación

La pupila

El diafragma circular del iris actúa como un diafragma de apertura del sistema óptico del ojo. La variación del diámetro en función del nivel de iluminación, permite controlar la cantidad de luz que forma la imagen retiniana y afecta a la calidad de la misma debido a la influencia del diámetro de la pupila en la difracción, las aberraciones y la profundidad del foco. El diámetro de la pupila puede variar entre 2 mm y 8 mm en función del nivel de iluminación. (⁵Urtubia. 1966).

Miopía nocturna

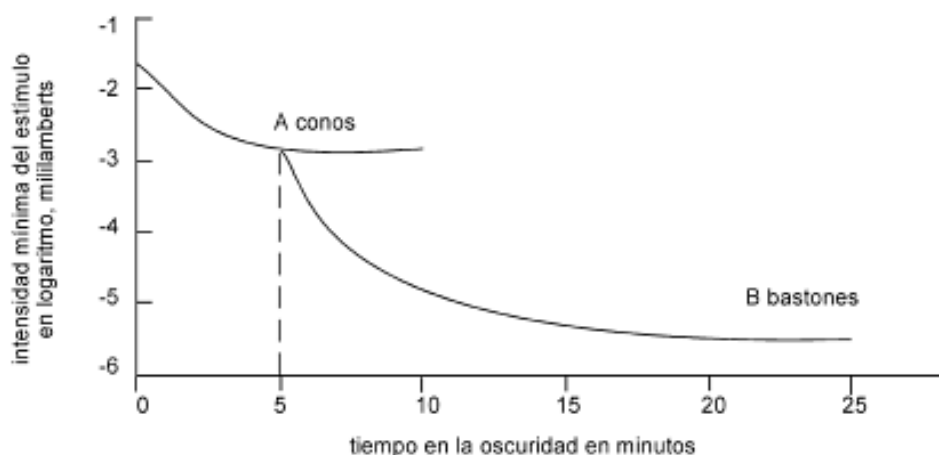
Un ojo normal en visión nocturna adquiere una miopía de 2 D, debida a dos causas: a) desplazamiento de la mejor imagen en $\frac{1}{4}$ de D a causa del aumento de la aberración esférica al abrirse la pupila, y b) en su mayor parte una verdadera acomodación con modificación de los radios de las caras del cristalino (⁴Urtubia. 1996).

Adaptación a la luz y a la oscuridad

Si una persona sale de una habitación en penumbra y se expone de pronto a una intensa luz diurna, el ajuste retiniano será inadecuado en un primer momento, ya que incluso las zonas oscuras de la imagen le resultarán demasiado brillantes y, como consecuencia, la imagen aparecerá sin contrastes. Esta visión deficiente desaparecerá cuando la retina se adapte lo suficiente como para que las zonas más oscuras de la imagen no estimulen excesivamente a los receptores. De forma inversa, si una persona sumida en luz diurna potente, penetra súbitamente en un recinto oscuro, su sensibilidad retiniana es tan pequeña que ni siquiera las zonas claras de la imagen logran excitarlas. Pero sí lo lograrán después de la adaptación a la oscuridad.

Entre los límites de adaptación máxima a la luz y adaptación máxima a la oscuridad, el ojo puede cambiar su sensibilidad en 10 órdenes de magnitud, mediante ajustes automáticos de sensibilidad a los cambios de iluminación.

El límite de separación entre la visión nocturna y diurna está en que los objetos presenten luminancias inferiores o superiores a 10^{-3} cd/m². (⁴Urtubia. 1996).



Gráfica 1. Curvas de adaptación a la oscuridad en conos y en bastones. El umbral de sensibilidad cae bruscamente en los 5 minutos iniciales, para presentar luego un escalón, y seguir descendiendo hasta los 20 o 30 minutos, en que se estabiliza, lo que indica que se ha alcanzado el punto de máxima sensibilidad de nuestro sistema visual.

Hipòtesis

1. En condiciones de baja iluminación ambiental, las pupilas del sujeto se dilatan de manera que las aberraciones ópticas y la posible aparición de miopía nocturna pueden disminuir la AV.
2. En condiciones de alta iluminación ambiental, las pupilas del sujeto se contraen reduciendo las aberraciones ópticas, obteniendo a priori una mejor medida de AV.
3. Para un determinado nivel de iluminación ambiental y luminancia de fondo, esperamos obtener mejor AV para un optotipo de contraste elevado respecto uno reducido.
4. Para un determinado valor de iluminación ambiental y contraste, los optotipos con luminancias de fondo de valor elevado nos proporcionarán valores de AV mayores.

OBJETIVOS

Nos planteamos estudiar cómo afecta el valor de la medida de AV binocular en visión de lejos bajo dos condiciones diferentes de iluminación ambiental: E máxima (todas las lámparas del techo del laboratorio encendidas) y E mínima (todas apagadas). Además estudiaremos la relación de la AV con otras variables tales como el contraste del optotipo-fondo, la luminancia de fondo y el orden de realización de la prueba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar si la medida de la AV binocular en visión de lejos está condicionada por la iluminación ambiental.
- Determinar si la medida de la AV binocular en visión de lejos está condicionada por el contraste de los optotipos.
- Determinar si la medida de la AV binocular en visión de lejos está condicionada por la luminancia de fondo de los optotipos
- Determinar si los resultados obtenidos para las dos condiciones de iluminación ambiental están condicionados por el orden de realización de la prueba.

CONDICIONES LUMÍNICAS

Se establecieron dos condiciones lumínicas totalmente distintas (condición A y condición B) para la realización del estudio.

Condición lumínica A (iluminación ambiental máxima)	Condición lumínica B (iluminación ambiental mínima)
$L_0 = 160 \text{ cd/m}^2$	$L_0 = 0.61 \text{ cd/m}^2$
$L_1 = 610 \text{ cd/m}^2$	$L_1 = 0.1 \text{ cd/m}^2$
$E_1 = 624 \text{ lx}$	$E_1 = 0.76 \text{ lx}$
$E_p = 845 \text{ lx}$	$E_p = 0.36 \text{ lx}$

Tabla 1. Condiciones lumínicas a las que se realizaron las pruebas a los observadores, donde L_0 es la luminancia al apuntar directamente con el fotómetro a la pantalla desde la posición del observador (a 6m de distancia), L_1 es la luminancia al apuntar a las fuentes luminosas del techo desde la posición del observador, E_1 es la iluminancia sobre la pantalla y E_p es la iluminancia sobre la pupila del observador.

Analizando las medidas, podemos comprobar que ambas condiciones son muy distintas a nivel fotométrico:

- L_0 es 262,3 veces mayor en la condición lumínica A.
- L_1 es 6100 veces mayor en la condición lumínica A.
- E_1 es 821 veces mayor en la condición lumínica A.
- E_p es 2347,2 veces mayor en la condición lumínica A.

PROGRAMA INFORMÁTICO “CLANDOLT”

Origen

El programa informático CLandolt fue creado a partir de Visual Basic. Su creación propiamente dicha fue a manos de un compañero informático (debido a mis escasos conocimientos de programación) el cual elaboró el programa a partir de las indicaciones que yo le iba proponiendo durante la creación del mismo.

Función

Éste programa tiene por objetivo la visualización en pantalla de un optotipo aislado del tipo C de Landolt, el cual podemos controlar sus características manualmente (tamaño y nivel de gris), y así poder medir agudezas visuales bajo diferentes condiciones.

Características

- El programa muestra un optotipo aislado en el centro de la pantalla del tipo C de Landolt.

- Existen 8 direcciones posibles del optotipo, 4 direcciones rectas y 4 oblicuas: hacia arriba, abajo, derecha, izquierda, arriba-izquierda, arriba-derecha, abajo-izquierda y abajo-derecha. La dirección del optotipo es aleatoria y varía cada vez que se cambia de AV o se pulsa el botón refrescar.
- El optotipo puede ser modificado manualmente de tamaño, pudiendo subtender ángulos que corresponden a agudezas visuales en un rango de 0,1 a 2 (en saltos de 0,1).
- El programa cuenta con una escala de grises tanto para la C de Landolt como para el fondo. Se divide la gama de grises en 256 tontos (del 0 al 255, siendo 0 negro y 255 blanco). De esta forma nuestra escala contará con 16 saltos equidistantes de 16 tonos cada uno.
- Se puede realizar la prueba para diferentes distancias observador-pantalla ya que es posible calibrar el programa para ello.

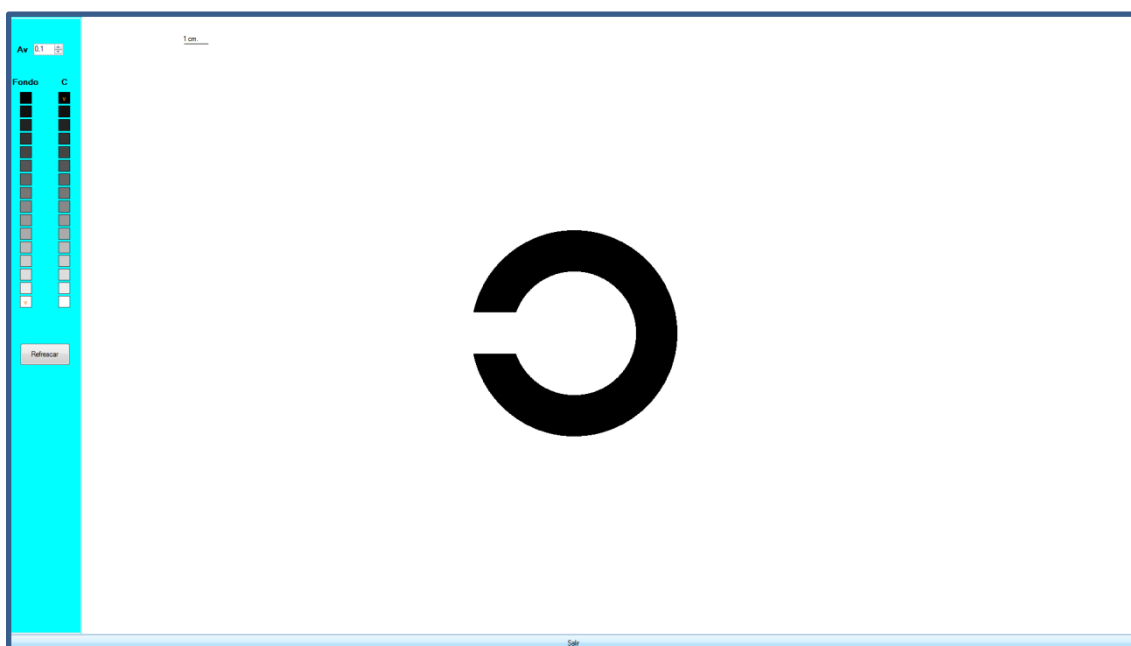


Figura 1. Interfaz del programa CLandolt. En el centro de la pantalla se presenta el optotipo mientras que en el lado izquierdo quedan situados los controladores del programa. Para más información sobre la interfaz y/o el uso del programa ver anexo A.

ESTUDIO DE LOS OPTOTIPOS

Una vez terminada la última versión del programa se llevó a cabo un estudio exhaustivo de los optotipos, con el objetivo de tenerlos caracterizados y comprobar si se asemejan razonablemente a los valores del diseño. Para ello, se emplearon dos procedimientos:

- Cálculo de la AV real.
- Medida de la luminancia de cada nivel de gris

Cálculo de la AV real

Al presentar los optotipos mediante un ordenador portátil, el tamaño real de estos viene influenciado por la resolución de la pantalla. Así pues, una pantalla de alta calidad con muy buena resolución será capaz de generar unos optotipos con los valores de AV muy parecidos a los que pretendíamos generar, sin embargo, no sucederá lo mismo con una de resolución reducida.

El procedimiento empleado para el cálculo de la AV real fue el siguiente:

1. Medida de $5s$ (en mm) de los optotipos (para cada AV).
2. Determinación del número de píxeles que forman los optotipos.
3. Cálculo del tamaño promedio de 1 píxel de la pantalla a partir de las dos medidas anteriores.
4. Cálculo del número de píxeles en S
5. Cálculo tamaño real de S
6. Cálculo AV real.

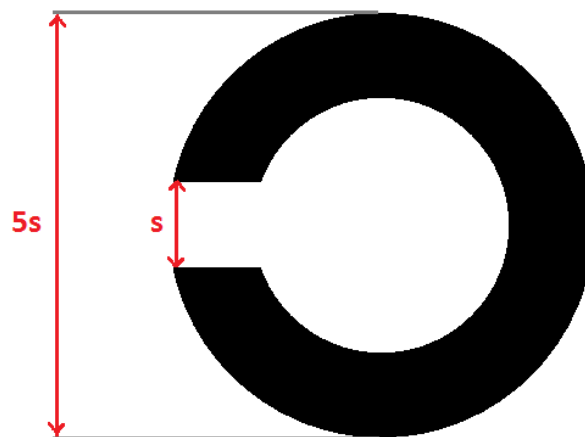


Figura 2. Medida de s y $5s$ de la C de Landolt.

A continuación se detalla cómo se realizó cada proceso y sus resultados.

Medida de 5s

Se midió mediante una regla milimetrada el tamaño de 5s de los optotipos. La medida se realizó directamente sobre la pantalla.

AV	5s (mm)
0,1	87,5
0,2	44
0,3	29
0,4	21,8
0,5	17
0,6	14,8
0,7	12
0,8	10,7
0,9	9,6
1	8,8
1,1	7,8
1,2	7
1,3	6,5
1,4	6,1
1,5	5,6
1,6	5
1,7	5
1,8	4,7
1,9	4,7
2	4

Tabla 2. Medida de 5s (en mm) de cada uno de los optotipos que forman el rango de AV comprendido entre 0,1 y 2.

Como se puede observar, para AV elevadas (a partir de 1,5) el tamaño en mm del optotipo varía con un salto de AV de 0,2 (previamente variaba con saltos de 0,1). Este fenómeno se da ya que la resolución de la pantalla es insuficiente para visualizar de forma exacta optotipos de tamaño tan pequeño.

Determinación del número de píxeles que forman los optotipos

Esta medida fue realizada mediante dos procesos:

- Toma de imágenes de los optotipos mediante una cámara.
- Medida del número de píxeles a partir de las imágenes capturadas de la pantalla.

1. Toma de imágenes de los optotipos:

En una habitación en condiciones de muy baja iluminación ambiental (prácticamente a oscuras) se colocó a 20 cm respecto la pantalla una cámara Canon EOS 550 D montada en un trípode. Se programó con la opción disparo automático, de forma que tomaba una captura cada pocos segundos sin necesidad de manipularla durante el proceso. Una vez empezó a disparar capturas, se fue visualizando en pantalla todo el rango de AV (desde 0,1 a 2) de los optotipos, todos en la misma dirección. En total, se realizaron 20 fotografías, que corresponden a cada una de las AV que el programa es capaz de generar.

2. Medida del número de píxeles a partir de las imágenes

Para esta medida se utilizó el programa informático *Paint*. El procedimiento fue simple, primero se trazan dos líneas tangentes que delimitan los dos extremos del optotipo. En segundo lugar, se cuenta una fila de 20 píxeles y se realiza una línea de ese tamaño. Por último se coloca consecutivamente las líneas de tamaño conocido entre las dos tangentes, de forma que si colocamos 8 líneas, los píxeles totales del optotipo serían $8 \text{ líneas} \times 20 \text{ píxeles/línea} = 160 \text{ píxeles}$. Cuando una línea quedaba cortada por la tangente (ya que el número de píxeles de la C no era un múltiplo de 20) se contaban los de la última línea de uno en uno.

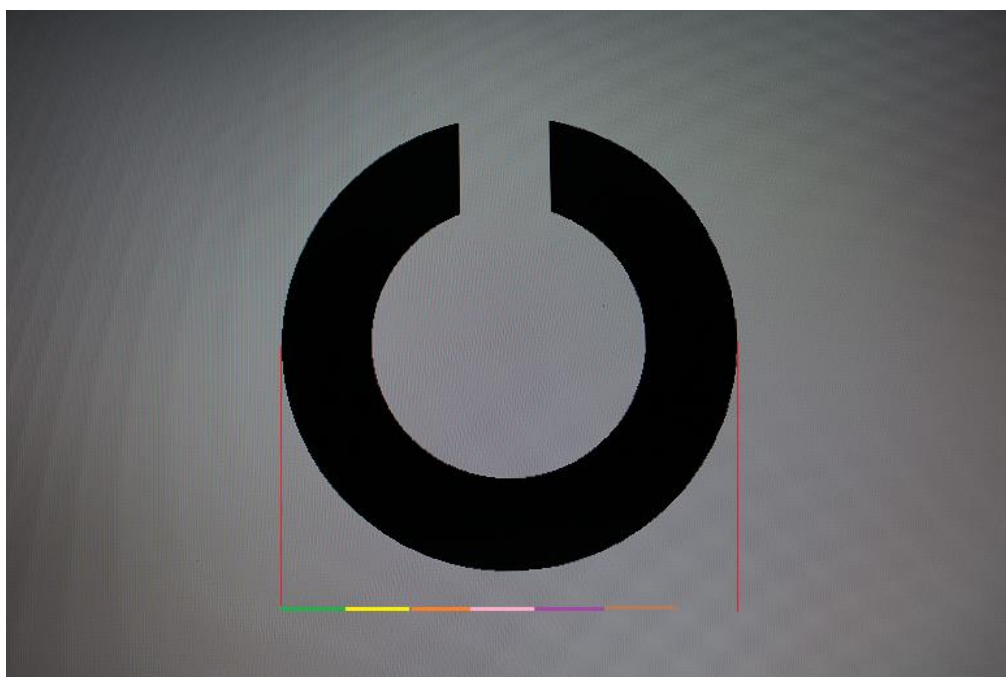


Figura 3. Ejemplo del método empleado para el conteo de píxeles que forman los optotipos. Las dos líneas rojas de los laterales son las líneas tangentes que delimitan la anchura del optotipo. Cada línea de color corresponde a una anchura de 20 píxeles. En este ejemplo, el optotipo estaría formado por 120 píxeles (ya que $6 \text{ líneas} \times 20 \text{ píxeles/línea} = 120 \text{ píxeles}$) más los que restan hasta llegar a la línea tangente, que tendríamos que contar de uno en uno.

AV	nº píxeles 5s
0,1	351
0,2	175
0,3	117
0,4	87
0,5	69
0,6	59
0,7	49
0,8	43
0,9	39
1	35
1,1	31
1,2	29
1,3	27

1,4	25
1,5	23
1,6	21
1,7	21
1,8	19
1,9	19
2	17

Tabla 3. Número de píxeles que constituyen cada uno de los optotipos que forman el rango de AV comprendido entre 0,1 y 2.

Al analizar los resultados de esta segunda medida, vemos que concuerdan con los de la tabla 2: a partir de la AV 1,5 se necesita un salto de 0.2 de AV para que se “enciendan” dos píxeles adicionales.

3. Cálculo del tamaño promedio de 1 píxel.

Para estimar el tamaño de cada píxel de la pantalla, se contó el número que formaba un optotipo de tamaño conocido, y así deducir la anchura mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de 1 píxel} = \frac{\text{Tamaño 5s (mm)}}{n^{\circ} \text{ píxeles 5s}}$$

Se realizó el cálculo para todas las AV y por último se calculó el promedio.

AV	tamaño pixel (mm)
0,1	0,249
0,2	0,251
0,3	0,248
0,4	0,251
0,5	0,246
0,6	0,25
0,7	0,245
0,8	0,249
0,9	0,246
1	0,251
1,1	0,252
1,2	0,241
1,3	0,241
1,4	0,244

1,5	0,243
1,6	0,238
1,7	0,238
1,8	0,247
1,9	0,247
2	0,235

Tabla 4. Valores del cálculo del tamaño de 1 píxel a partir de las medidas del tamaño y el número de píxeles en 5s. El promedio de estos valores será el tamaño que asumiremos como valor correcto.

$$\bar{x}=0.2456 \text{ mm}$$

4. Cálculo del número de píxeles en S

Para obtener este valor se divide el número de píxeles en 5s entre 5.

$$\text{nº píxeles en S} = \frac{\text{nº píxeles en 5s}}{5}$$

AV	nº píxeles S
0,1	70,2
0,2	35
0,3	23,4
0,4	17,4
0,5	13,8
0,6	11,8
0,7	9,8
0,8	8,6
0,9	7,8
1	7
1,1	6,8
1,2	5,8
1,3	5,4
1,4	5
1,5	4,6
1,6	4,2
1,7	4,2
1,8	3,8

1,9	3,8
2	3,4

Tabla 5. Valores calculados del número de píxeles en S.

5. Cálculo tamaño real S:

Para estimar el tamaño real de S se multiplica el nº de píxeles en S por el tamaño de un píxel.

$$\text{Tamaño real S} = \text{nº píxeles en S} * \text{tamaño 1 píxel}$$

AV	tamaño real S (mm)
0,1	17,24
0,2	8,60
0,3	5,75
0,4	4,27
0,5	3,39
0,6	2,90
0,7	2,41
0,8	2,11
0,9	1,92
1	1,72
1,1	1,67
1,2	1,42
1,3	1,33
1,4	1,23
1,5	1,13
1,6	1,03
1,7	1,03
1,8	0,93
1,9	0,93
2	0,84

Tabla 6. Valores del cálculo del tamaño real de S (en mm).

6. Cálculo AV real

Para obtener la AV real, necesitamos recordar cómo calcular la AV de un optotipo a partir del tamaño S y la distancia de observación.

- Tamaño S/distancia observación= Ángulo subtendido en radianes
- Ángulo subtendido en radianes $\times \frac{360^\circ}{2\pi \text{ rad}} = \text{Ángulo subtendido en grados}$
- Ángulo subtendido en grados $/\left(\frac{1^\circ}{60'}\right) \rightarrow \text{Ángulo subtendido en minutos}$
- AV= 1/ángulo subtendido en minutos

AV	AV real	Diferencia
0,1	0,10	0
0,2	0,20	0
0,3	0,30	0
0,4	0,41	0.01
0,5	0,51	0.01
0,6	0,60	0
0,7	0,73	0.03
0,8	0,83	0.03
0,9	0,91	0.01
1	1,02	0.02
1,1	1,05	0.05
1,2	1,23	0.03
1,3	1,32	0.02
1,4	1,42	0.02
1,5	1,54	0.04
1,6	1,69	0.09
1,7	1,69	0.02
1,8	1,87	0.07
1,9	1,87	0.03
2	2,09	0.09

Tabla 7. Valores del cálculo de la AV real de los optotipos. En la columna de la derecha están los valores AVreal-AV. Las casillas marcadas en rojo corresponden a los valores críticos los cuales tienen una diferencia demasiado elevada.

Esta última tabla es la más importante de todas: en la columna de la izquierda tenemos los valores de AV que pretendíamos que tuvieran los optotipos visualizados

en pantalla, mientras que en la central tenemos los valores que realmente presentan. En la columna de la derecha tenemos la diferencia entre estos dos valores. Vemos que para las AV 1.1, 1.5, 1.6, 1.8 y 2 (marcados en rojo en la tabla) tenemos una variación ≥ 0.04 . Para estas AV tendremos una visualización del optotipo un tanto alterada debido a la resolución de la pantalla y lo tendremos en cuenta a la hora de la valoración de los resultados.

Medidas de las luminancias para cada nivel de gris

Se realizó las medidas de luminancia de cada nivel de gris para las dos condiciones de iluminación establecidas. Las medidas se llevaron a cabo en el mismo laboratorio donde posteriormente se realizaron las pruebas.

Se empleó un fotómetro MAVOLUX 5032C USB.

		<u>Condición</u>	<u>Condición</u>
		<u>A</u>	<u>B</u>
	NG	L (cd/m ²)	L (cd/m ²)
1	0	12,2	0,7
2	17	13,9	1,8
3	34	17,7	5,2
4	51	22,7	10
5	68	28,6	15,7
6	85	35,1	23
7	102	42,3	30,4
8	119	49,9	38
9	136	59,1	47,5
10	153	71,8	61,2
11	170	86,2	75,2
12	187	102,2	93,6
13	204	119,9	106
14	221	137,4	130,6
15	238	154,8	146,9
16	255	172,4	169,4

Tabla 8. Valores de la luminancia de cada uno de los niveles de gris medidos para las dos condiciones de iluminación ambiental.

Tenemos valores de luminancia más elevados para la condición A (iluminación ambiental máxima) para todos los niveles de grises tal como esperábamos. Este fenómeno es debido a que en la medida de la condición A interviene, no sólo la

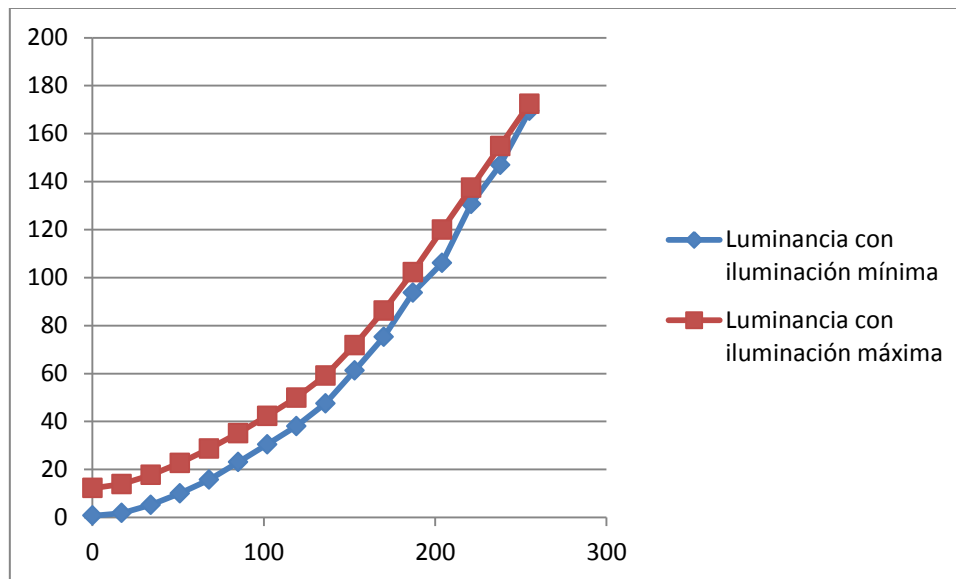
luminancia generada por la propia pantalla, sino también la debida al reflejo del flujo luminoso proveniente de las lámparas del techo.

Para el análisis de esta medida utilizaremos una segunda tabla con la diferencia de luminancia entre ambas condiciones:

	NG	ΔL (cd/m ²)
1	0	11,5
2	17	12,1
3	34	12,5
4	51	12,7
5	68	12,9
6	85	12,1
7	102	11,9
8	119	11,9
9	136	12,2
10	153	10,6
11	170	11
12	187	8,6
13	204	13,9
14	221	6,8
15	238	7,9
16	255	3

Tabla 9. Diferencia de luminancias entre la condición de iluminación A y B.

Teóricamente la diferencia de luminancias debería ser constante, ya que las lámparas del techo incrementan el valor siempre en la misma medida sin importar el nivel de gris. Sin embargo, la diferencia es relativamente estable hasta el NG 170 y a partir de este nivel, hay fluctuaciones hasta llegar al NG 221, a partir del cual la variación disminuye de forma significativa.



Gráfica 2. Variación del nivel de luminancia respecto al nivel de gris. En color rojo queda representada la curva de la condición lumínica A (máxima iluminación ambiental) y en azul la curva de la condición lumínica B. Como se puede observar, los valores de luminancia en la condición A son mayores (la diferencia es constante, aproximadamente de unos 11.5 cd/m^2 , para NG de 0 a 204, a partir de este valor la diferencia va decreciendo hasta alcanzar su mínimo, 3 cd/m^2 , en 255).

DISEÑO DE LA PRUEBA OPTOMÉTRICA

Una vez tuvimos caracterizados los optotipos, el siguiente paso fue decidir las luminancias de fondo y los contrastes que utilizaríamos para la prueba optométrica.

Se realizaron dos tablas con todos los valores de luminancia de los NG (tanto del fondo como de los optotipos) para determinar todas las combinaciones de contrastes que el programa era capaz de generar.

Tabla 1: Contrastes con iluminación ambiental máxima

			L fondo (cd/m²)																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
			12,2	13,9	17,7	22,7	28,6	35,1	42,3	49,9	59,1	71,8	86,2	102,2	119,9	137,4	154,8	172,4	
L test (cd/m²)	1	12,2	0,00	0,12	0,31	0,46	0,57	0,65	0,71	0,76	0,79	0,83	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	
	2	13,9		0,00	0,21	0,39	0,51	0,60	0,67	0,72	0,76	0,81	0,84	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	
	3	17,7			0,00	0,22	0,38	0,50	0,58	0,65	0,70	0,75	0,79	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	
	4	22,7				0,00	0,21	0,35	0,46	0,55	0,62	0,68	0,74	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	
	5	28,6					0,00	0,19	0,32	0,43	0,52	0,60	0,67	0,72	0,76	0,79	0,82	0,83	
	6	35,1						0,00	0,17	0,30	0,41	0,51	0,59	0,66	0,71	0,74	0,77	0,80	
	7	42,3							0,00	0,15	0,28	0,41	0,51	0,59	0,65	0,69	0,73	0,75	
	8	49,9								0,00	0,16	0,31	0,42	0,51	0,58	0,64	0,68	0,71	
	9	59,1									0,00	0,18	0,31	0,42	0,51	0,57	0,62	0,66	
	10	71,8										0,00	0,17	0,30	0,40	0,48	0,54	0,58	
	11	86,2											0,00	0,16	0,28	0,37	0,44	0,50	
	12	102,2												0,00	0,15	0,26	0,34	0,41	
	13	119,9													0,00	0,13	0,23	0,30	
	14	137,4														0,00	0,11	0,20	
	15	154,8																0,00	0,10
	16	172,4																	0,00

Tabla 10. Valores de todos los contrastes posibles con polaridad positiva para la condición de iluminación A. Los valores marcados son los que finalmente se decidió utilizar para realizar el estudio.

Tabla 2: Contrastes con iluminación ambiental mínima

		L fondo (cd/m ²)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		0,7	1,8	5,2	10	15,7	23	30,4	38	47,5	61,2	75,2	93,6	106	130,6	146,9	169,4
L test (cd/m ²)	1	0,7	0,00	0,61	0,87	0,93	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
	2	1,8		0,00	0,65	0,82	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
	3	5,2			0,00	0,48	0,67	0,77	0,83	0,86	0,89	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96
	4	10				0,00	0,36	0,57	0,67	0,74	0,79	0,84	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93
	5	15,7					0,00	0,32	0,48	0,59	0,67	0,74	0,79	0,83	0,85	0,88	0,89
	6	23						0,00	0,24	0,39	0,52	0,62	0,69	0,75	0,78	0,82	0,84
	7	30,4							0,00	0,20	0,36	0,50	0,60	0,68	0,71	0,77	0,79
	8	38								0,00	0,20	0,38	0,49	0,59	0,64	0,71	0,74
	9	47,5									0,00	0,22	0,37	0,49	0,55	0,64	0,68
	10	61,2										0,00	0,19	0,35	0,42	0,53	0,58
	11	75,2											0,00	0,20	0,29	0,42	0,49
	12	93,6												0,00	0,12	0,28	0,36
	13	106													0,00	0,19	0,28
	14	130,6														0,00	0,11
	15	146,9															0,00
	16	169,4															0,00

Tabla 11. Valores de todos los contrastes posibles con polaridad positiva para la condición de iluminación B. Los valores marcados son los que finalmente se decidió utilizar para realizar el estudio.

Decidimos utilizar 4 contrastes distintos: el máximo ($C \approx 1$), uno de valor bajo ($C \approx 0.25$) y dos intermedios ($C \approx 0.50$ y $C \approx 0.75$). Se buscaron las combinaciones de luminancias que daban valores parecidos a estos 4 contrastes, eligiendo 3 valores distintos de luminancia de fondo: el máximo ($L=169.4$ para luz encendida y $L=172.4$ para luz apagada), un valor bajo ($L=38$ para luz encendida y $L=42.3$ para luz apagada) y un intermedio ($L=75.2$ para luz encendida y $L=86.2$ para luz apagada).

Por lo tanto, se escogieron 4 contrastes, 3 luminancias de fondo y 2 condiciones de iluminación ambiental de manera que, en un principio, nuestra prueba optométrica consistía en $4 \times 3 \times 2 = 24$ medidas de AV. Sin embargo, se acabaron realizando una batería de 23 medidas ya que para la condición de máxima iluminación ambiental no se consigue un valor de contraste suficientemente alto con luminancias de fondo bajas (el C máximo para estas condiciones es 0.71 y por ende no se puede realizar la medida de $C=1$).

METODOLOGIA

Participantes

La muestra final está formada por 14 individuos, 10 varones y 4 mujeres, de edad comprendida entre 17 y 24 años (excepto un varón de 49). Se divide la muestra en dos grupos (A y B), el grupo A realizó primero las medidas de AV en condiciones de máxima iluminación ambiental. En cambio, el grupo B las realizó en el orden invertido.

Material

- PC portátil con procesador Intel Core i3-380M
- Pantalla con 15.6" HD LCD con resolución espacial de 1366x768 pixeles
- Programa informático CLandolt
- Cartulina
- Hojas tabuladas y bolígrafo
- Regla milimetrada

Protocolo de adaptación a la luz/oscuridad

Para las sesiones experimentales del estudio se citaron a los pacientes por parejas. Antes de entrar al laboratorio donde se realizaron las medidas, se le explicaba a los pacientes en qué consistía la prueba en el pasillo (durante unos 15 minutos aproximadamente), con el objetivo de que su sistema visual se adaptara a un nivel de iluminación ambiental intermedio al que estarían sometidos durante la realización del estudio. Una vez pasados estos 15 minutos, invitábamos a entrar a uno de los pacientes (paciente A) para realizarle las pruebas mientras que el otro (paciente B) permanecía en el pasillo. Cuando el paciente A finalizaba la primera tanda de medidas (a los 20 minutos aproximadamente) le hacíamos tomar un descanso en el pasillo (con

el fin de volverlo a adaptar a una iluminación intermedia) y, mientras tanto, le realizábamos la primera tanda de medidas al paciente B. Una vez teníamos los resultados, se volvía a intercambiar con el paciente A, de forma que ahora se le realizaba la segunda tanda de medidas. Por último, se intercambiaban por última vez para realizar la segunda y última tanda al paciente B.

Tiempo	Paciente A	Paciente B
15 minutos	Mientras los pacientes esperan en el pasillo, el examinador prepara el laboratorio para proceder con las medidas y luego les explica en qué consistirá la prueba (en el mismo pasillo).	
20 minutos	Medidas de AV para la primera condición de iluminación.	Descanso en el pasillo
20 minutos	Descanso en el pasillo.	Medidas de AV para la primera condición de iluminación.
20 minutos	Medidas de AV para la segunda condición de iluminación.	Descanso en el pasillo
20 minutos	Descanso en el pasillo.	Medidas de AV para la segunda condición de iluminación.
TOTAL = 1h y 35 minutos		

Tabla 12. Rutina empleada durante el estudio para cada sesión experimental.

Procedimiento

1. Sentamos al paciente a 6m de distancia respecto la pantalla.
2. Ejecutamos y calibramos el programa CLandolt (ver anexos).
3. Recordamos al paciente en qué consiste la prueba y lo que esperamos de él.
4. Realizamos la primera tanda de medidas:
 - a. Seguimos el orden de presentación de estímulos establecido en la plantilla.
 - b. El paciente tiene 5 segundos para responder a partir del momento en que se presente el estímulo.
 - c. Si el paciente falla, volvemos a presentar el estímulo de esa AV tres veces más. Asumimos que la AV es aquella en la que es incapaz de responder correctamente 3 de esas 4 medidas.
 - d. Durante los cambios de AV, impedimos que el paciente visualice la pantalla mediante una cartulina para evitar dar pistas con el cambio que realiza la C.
5. Repetimos todo el proceso para iluminación ambiental máxima (o mínima si hemos decidido empezar por la máxima) tras 20 minutos de descanso.

MEDIDAS DE AV OBTENIDAS

Condición A (máxima iluminación ambiental)

L FONDO	C	Grupo A							Grupo B						
		AV							AV						
		Obs.1	Obs.2	Obs.3	Obs.4	Obs.5	Obs.6	Obs.7	Obs.8	Obs.9	Obs.10	Obs.11	Obs.12	Obs.13	Obs.14
7	0,71	1,3	1,3	1,1	1,5	1,2	1,5	0,7	1,6	1,5	0,9	1,5	1,5	1,9	1,3
7	0,46	1,3	1,1	1	1,2	1	1,5	0,8	1,4	1,3	1	1,5	1,5	2,5	1,3
7	0,17	1,2	0,9	0,8	0,6	0,7	1,3	0,5	1	1	0,6	1	1	1,4	1,1
11	0,86	1,8	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	0,9	1,7	1,6	1,2	1,5	1,7	1,8	1,5
11	0,74	1,6	1,2	1,3	1,2	1,4	1,3	1	1,7	1,7	1,2	1,5	1,7	1,9	1,4
11	0,51	1,7	1,4	1,3	1,1	1,3	1,6	0,8	1,5	1,6	1,1	1,4	1,6	2	1,6
11	0,17	0,8	0,8	0,7	1	0,8	1,1	0,6	1,2	1,2	0,7	1	1,1	1,4	1,2
16	0,93	1,7	1,4	1,3	1,6	1,6	1,8	1,3	2	1,9	1,5	1,6	1,8	2	1,6
16	0,75	1,6	1,3	1,6	1,5	1,5	1,3	1,2	1,9	1,9	1,3	1,6	1,8	2	1,5
16	0,5	1,6	1,5	1,3	1,3	1,4	0,9	1	1,7	1,8	1,4	1,5	1,7	2	1,4
16	0,2	1,3	1,1	1	1,1	1	1,3	0,9	1,5	1,5	0,9	1,4	1,1	1,6	1

Tabla 13. Resultados de las medidas para la condición de iluminación A.

Condición B (mínima iluminación ambiental)

L FONDO	C	Grupo A							Grupo B						
		AV							AV						
		Obs.1	Obs.2	Obs.3	Obs.4	Obs.5	Obs.6	Obs.7	Obs.8	Obs.9	Obs.10	Obs.11	Obs.12	Obs.13	Obs.14
8	0,98	1,2	1,1	1	1,3	1,4	1,6	0,9	1,3	1,3	0,8	1,4	1,4	1,8	1,2
8	0,74	1,2	1	1,1	1,4	1,3	1,3	0,9	1	1,3	0,9	1,3	1,3	1,7	1,1
8	0,59	1	1	0,9	1,1	1,3	1,3	0,9	1,5	1,1	0,8	1,2	1,1	1,6	1,1
8	0,2	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	1	1	0,6	0,9	0,9	1,2	0,9
11	0,99	1,5	1,4	0,9	1,5	1,8	1,7	1,2	1,6	1,7	0,8	1,5	1,5	1,8	1,4
11	0,79	1,2	1,3	1,2	1,4	1,6	1,5	1	1,8	1,6	0,7	1,2	1,4	1,8	1,4
11	0,49	1,2	0,9	0,9	1,2	1,5	1,3	0,9	1,5	1,3	0,8	1,1	1,2	1,6	1,2
11	0,19	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,6	1,2	1,1	0,5	0,8	0,9	1	1,1
16	1	1,5	1,5	1,1	1,6	1,6	1,7	1	1,9	2	1,1	1,6	1,7	2	1,5
16	0,78	1,4	1,4	1	1,4	1,3	1,5	1	1,8	2	1,1	1,4	1,4	1,8	1,4
16	0,56	1,5	1,3	0,9	1,2	1,3	1,3	0,8	1,3	2	1	1,3	1,3	1,8	1,2
16	0,23	1,2	1,1	0,6	1,1	0,8	1	0,6	1,2	1,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1

Tabla 14. Resultados de las medidas para la condición de iluminación B.

TRATAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el programa informático minitab 17. En nuestro estudio intervienen 6 variables: observador, grupo, condición de iluminación, contraste, luminancia de fondo y AV.

Variables del estudio

14 observadores

2 Grupos:

- Grupo A (Primero realizan las medidas bajo condiciones de iluminación ambiental máxima)
- Grupo B (Primero realizan las medidas bajo condiciones de iluminación ambiental mínima)

2 Condiciones de iluminación:

- Condición A (Iluminación ambiental máxima)
- Condición B (iluminación ambiental mínima)

4 Contrastes:

- $C \approx 1$
- $C \approx 0.75$
- $C \approx 0.50$
- $C \approx 0.25$

3 Luminancias de fondo:

- L baja $\approx 40 \text{ cd/m}^2$
- L media $\approx 80 \text{ cd/m}^2$
- L elevada $\approx 170 \text{ cd/m}^2$

20 posibles valores de AV (del 0,1 al 2).

Para que el programa fuera capaz de realizar el análisis de forma correcta se tuvo que eliminar la variable observador (por lo tanto, analizamos los datos considerando que la muestra es homogénea).

Técnica de análisis

Se empleó la técnica ANOVA (análisis de la varianza), la cual permite comparar más de dos medias simultáneamente. Los resultados se interpretan a partir del valor p y se

representan en gràfics de intervalos de confianza por el método de Tuckey para identificar las posibles diferencias.

Hipótesis nula vs. Hipótesis alternativa

Nuestro estudio se analizará mediante un contraste de hipótesis estadístico y, por lo tanto, se plantean dos hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): El valor de la medida de AV está condicionada por la variable analizada (iluminación ambiental, luminancia de fondo, contraste o grupo).

Hipótesis alternativa (H_1): El valor de la medida de AV no está condicionada por la variable analizada.

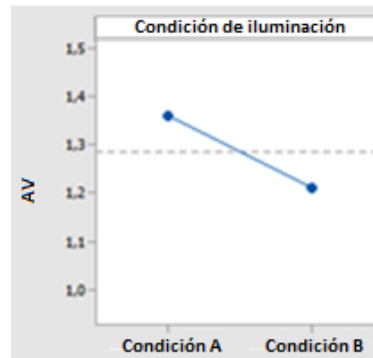
Resultados análisis

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Iluminación ambiental	1	1,713	1,71324	28,02	<0,001
Grupo	1	3,240	3,24003	53,00	<0,001
Contraste	3	12,547	4,18229	68,41	<0,001
Luminancia	2	2,353	1,17652	19,24	<0,001

Tabla 15. Resultados de aplicar una ANOVA de modelo lineal general sobre los resultados de nuestro estudio. De todos los valores de la tabla, sólo el valor p tiene relevancia por el tipo de estudio que se realiza.

Variación de la AV respecto la iluminación ambiental

El valor p del factor Iluminación ambiental (<0,001) es inferior al nivel de significación (0,05). Se puede afirmar que hay evidencias suficientes para considerar que la AV está condicionada por las condiciones de iluminación ambiental aplicadas en el estudio.



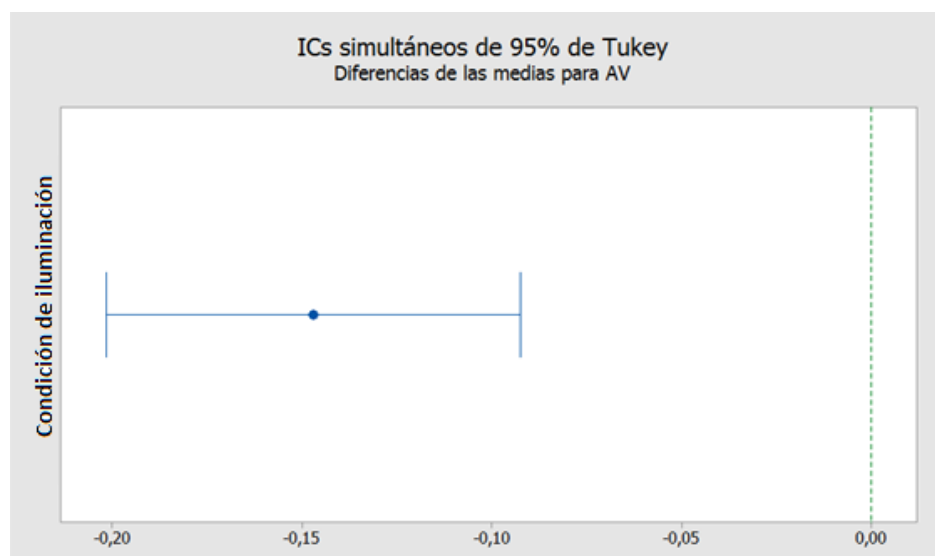
Gràfica 3. Variación de la AV respecto la condición de iluminación ambiental.

En la gráfica se puede observar que el valor de la medida de la AV disminuye para la condición de iluminación ambiental B (1,21) respecto la condición A (1,36). La diferencia de las medias entre las dos condiciones es de 0,147.

Condición de iluminación	AV media
Condición de iluminación máxima	1,35826
Condición de iluminación mínima	1,21131

Tabla 16. AV media para las dos condiciones de iluminación empleadas durante el estudio.

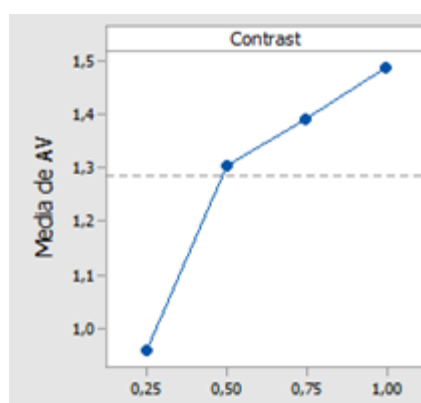
Comprobamos si las medias de la AV son significativamente diferentes mediante un intervalo de confianza simultáneo por el método de Tukey.



Gràfica 4. Intervalo de confianza por el método de Tukey. Diferencias de las medias para AV respecto la condición de iluminación ambiental. Como el intervalo no contiene 0, las medias de las AV son significativamente diferentes.

Variación de la AV respecto al contraste

El valor p del factor contraste (<0,001) es inferior al nivel de significación (0,05). Se puede afirmar que hay evidencias suficientes para considerar que la AV está condicionada por el contraste que presentan los optotipos.



Gràfica 5. Variación de la AV respecto al contraste.

La grafica muestra una clara tendencia de aumento de la medida de AV al incrementar el contraste. La mayor variación se produce al pasar de un contraste de 0,25 a uno de 0,50, donde se produce un incremento de la AV de 0,345.

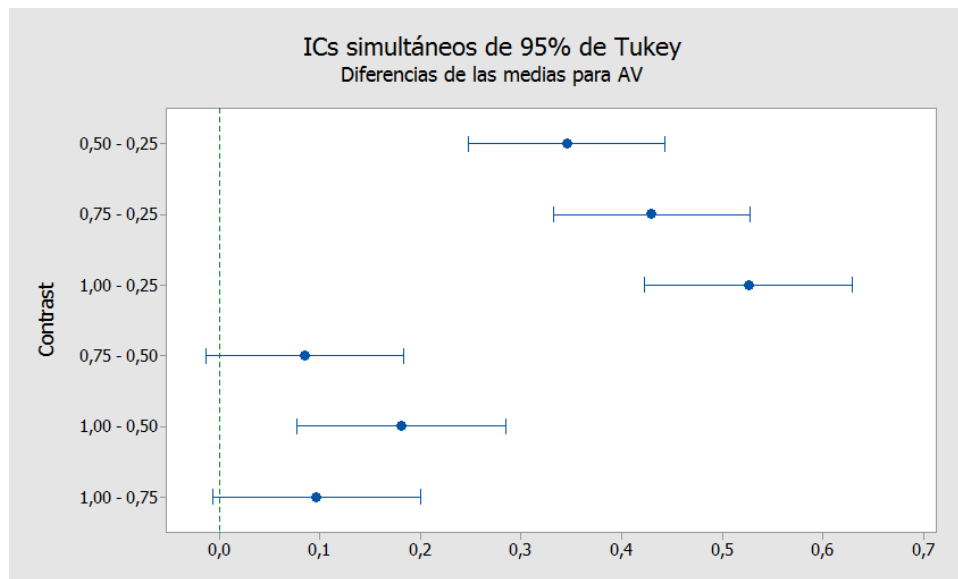
Contraste	AV media
1	1,48557
0,75	1,38929
0,50	1,30476
0,25	0,95952

Tabla 17. AV media obtenida para cada nivel de contraste.

Diferencia de contraste	Diferencia de medias de AV
0,50 – 0,25	0,3452
0,75 – 0,25	0,4298
1,00 – 0,25	0,5261
0,75 – 0,50	0,0845
1,00 – 0,50	0,1808
1,00 – 0,75	0,0963

Tabla 18. Diferencia de medias de AV respecto la diferencia de contrastes. Observamos que el mayor incremento de AV se da al cambiar de un contraste de 0,25 a 1, con un aumento de la medida de 0,52. Los incrementos más pequeños se dan al pasar de un contraste de 0,50 a 0,75 (0,0845) y de 0,75 a 1 (0,0963).

Comprobamos cuales de estas diferencias de medias son significativamente diferentes mediante un intervalo de confianza simultáneo por el método de Tukey:



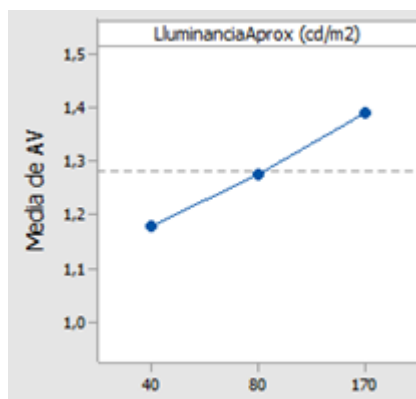
Gráfica 6. Intervalos de confianza por el método Tukey. Diferencias de las medias para AV respecto el contraste de los optotipos.

En esta gráfica podemos observar que si comparamos las medias de AV para el contraste de valor 0,75 con las de 0,50, el intervalo contiene el 0, por lo tanto no podemos afirmar que las medias de AV para estos dos contrastes sean significativamente diferentes. Lo mismo pasa con el caso de contrastes 1 – 0,75.

Para los demás cambios de contraste, sí que podemos afirmar que las medias de AV sean estadísticamente diferentes.

Variación de la AV respecto a la luminancia de fondo

El valor p del factor luminancia de fondo ($<0,001$) es inferior al nivel de significación. Se puede afirmar que hay evidencias suficientes para considerar que la AV está condicionada por el la luminancia de fondo que presentan los optotipos



Gràfica 7. Variación de la AV respecto a la luminancia de fondo.

La grafica muestra una clara tendencia de aumento de la medida de AV al incrementar la luminancia de fondo.

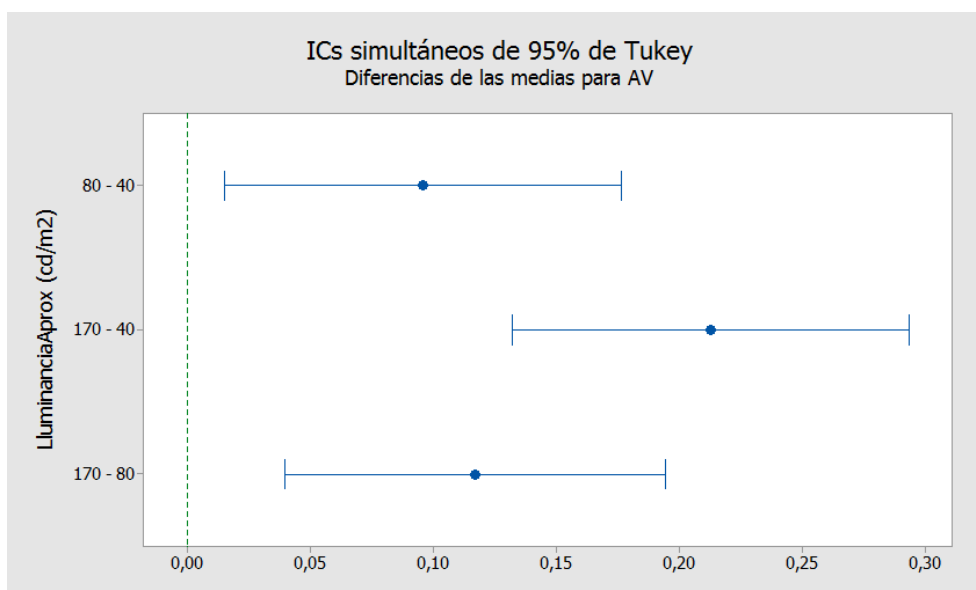
Luminancia de fondo (cd/m^2)	AV media
170	1,39464
80	1,27768
40	1,18204

Tabla 19. AV media obtenida para cada nivel luminancia de fondo.

Diferencia de luminancia de fondo	Diferencia de medias de AV
80 – 40	0,0956
170 – 40	0,2126
170 - 80	0,1170

Tabla 20. Diferencia de medias de AV respecto la diferencia de luminancias de fondo. Observamos que el mayor incremento de AV se da al cambiar de una luminancia baja (40 cd/m^2) a una elevada (170 cd/m^2), con un aumento de la medida de 0,2126.

Comprobamos si estas diferencias de medias son significativamente diferentes mediante un intervalo de confianza simultáneo por el método de Tukey:



Gráfica 8. Intervalos de confianza por el método Tukey. Diferencias de las medias para AV respecto la luminancia de fondo de los optotipos. Como ningún intervalo contiene 0, las medias de las AV son significativamente diferentes para todas las combinaciones de cambios de luminancia de fondo.

Variación de la AV respecto diferentes luminancias de fondo para un nivel de contraste fijo

Para el análisis de la AV respecto estas dos variables se ha empleado un análisis de interacción entre factores.

Contraste	Luminancia fondo (cd/m ²)	AV media
1	170	1.60357
	80	1.49286
	40	1.30536
0.75	170	1.49643
	80	1.4
	40	1.27143
0.50	170	1.38214
	80	1.30714
	40	1.225
0.25	170	1.09643
	80	0.91071
	40	0.87142

Tabla 21. Valores de AV media respecto diferentes luminancias de fondo para cada nivel de contraste

Para facilitar el análisis de los resultados realizamos una segunda tabla con los valores reducidos a dos decimales y ordenados de diferente forma:

Contraste	AV		
	L _{fondo} baja (40 cd/m ²)	L _{fondo} media (80 cd/m ²)	L _{fondo} elevada (170 cd/m ²)
1	1.31	1.49	1.60
0.75	1.27	1.40	1.50
0.50	1.22	1.31	1.38
0.25	0.87	0.91	1.10

Tabla 22. Valores de AV media respecto diferentes luminancias de fondo para un nivel de contraste fijo.

A nivel general, podemos afirmar que para cada uno de los niveles de contraste evaluados en el estudio, la medida de la AV aumenta al incrementar la luminancia de fondo del test.

Seguidamente analizaremos cada uno de los contrastes de forma más detallada:

- **Para C=1:** Los resultados muestran una variación de AV de 0.18 al pasar de la L_{fondo} baja a la media y una variación de 0.11 al pasar de media a alta.
- **Para C=0.75:** Los resultados muestran una variación de AV de 0.13 al pasar de la L_{fondo} baja a la media y una variación de 0.10 al pasar de media a alta.
- **Para C=0.50:** Los resultados muestran una variación de AV de 0.09 al pasar de la L_{fondo} baja a la media y una variación de 0.07 al pasar de media a alta.
- **Para C=0.25:** Los resultados muestran una variación de AV de 0.04 al pasar de la L_{fondo} baja a la media y una variación de 0.19 al pasar de media a alta.

Contraste	Δ AV	
	L _{fondo} baja-media	L _{fondo} media-alta
1	0.18	0.11
0.75	0.13	0.10
0.50	0.09	0.07
0.25	0.04	0.19

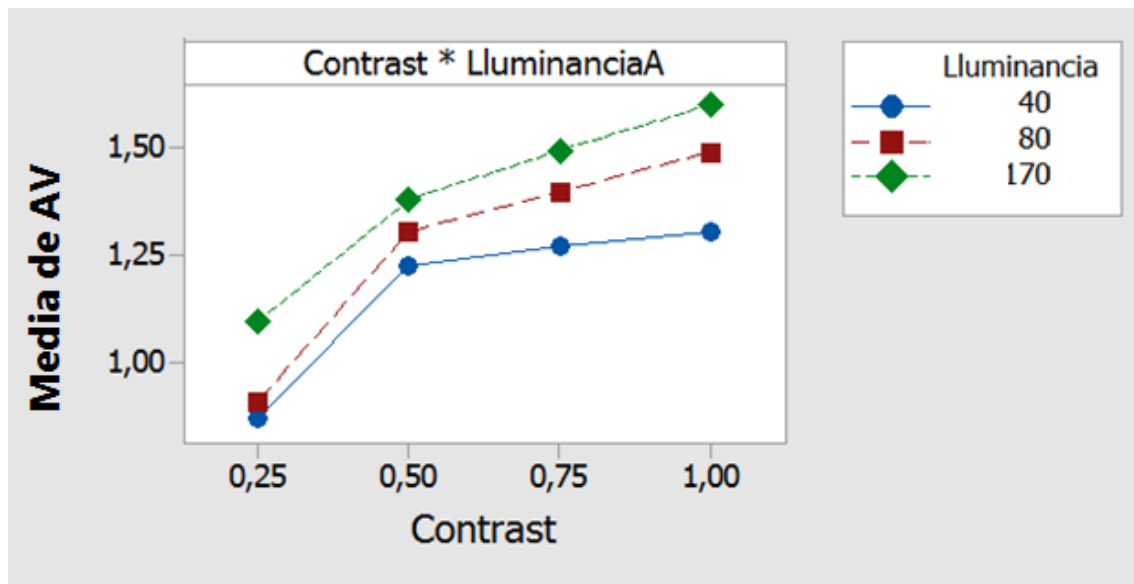
Tabla 23. Incremento de la AV al cambiar el nivel de luminancia (alto, medio y bajo) para un nivel de contraste fijo.

Analizando esta última tabla podemos observar que:

1. Para un nivel de $C \geq 0.50$:
 - a. El incremento de AV es siempre superior al pasar de una L_{fondo} baja a media comparado con el incremento obtenido al pasar de una media a alta.

- b. La diferencia entre estos incrementos parece ir reduciéndose conforme disminuye el contraste.
2. Para un nivel de contraste < 0.50 :
 - a. El incremento de AV es muy superior al pasar de una L_{fondo} media a alta comparado con el incremento obtenido al pasar de una baja a media.
 - b. El incremento al pasar de una L_{fondo} media a alta con un contraste de 0.25 es el mayor de todos los incrementos obtenidos.

Por último, graficamos los valores de la tabla 21 para una comprensión visual de cómo interaccionan el contraste y la luminancia a la hora de medir la AV.



Gráfica 9. Gráfica de interacción de dos factores (luminancia y contraste) para AV. En esta gráfica quedan representados los valores de la tabla 21.

Análisis de la variable Grupo

Durante el análisis de esta variable, se llegó a la conclusión de que los resultados obtenidos no son estadísticamente fiables ya que, al eliminar la variable observadores del estudio, no se puede saber si las diferencias de medias de AV son debidas a la variable grupo o a la variable observador (el problema recae en que al eliminar la variable observador estamos considerando que los dos grupos están formados por

observadores homogéneos y puede ser que por azar un grupo esté formado por observadores con mayor AV). En estadística este fenómeno se denomina “confusión”.

Para el correcto análisis estadístico de esta variable deberíamos de repetir todas las medidas del estudio intercambiando cada observador de grupo.

Aun sabiendo que el análisis de la variable no es estadísticamente fiable, se percibe una clara tendencia al aumento de la AV media en el grupo que empieza las medidas bajo condiciones de iluminación bajas (grupo B).

Observador	AV media
Obs7	0,8739
Obs10	0,9391
Obs3	1,0348
Obs2	1,1739
Obs4	1,2304
Obs5	1,2609
Obs14	1,2783
Obs1	1,3087
Obs11	1,3087
Obs6	1,3565
Obs12	1,3783
Obs8	1,4913
Obs9	1,5174
Obs13	1,7304

Tabla 24. AV media de cada observador. Los observadores con la casilla de color amarillo pertenecen al grupo A, mientras que los de color naranja al B. Los valores de AV media están en orden creciente. Se observa que, la parte inferior de la tabla queda poblada por observadores pertenecientes al grupo B, indicando que son los observadores que han obtenido una mayor AV media.

DISCUSION-CONCLUSION

Considerando una muestra de 14 observadores con su corrección habitual, analizamos el efecto que tiene la iluminación ambiental, el contraste y la luminancia de fondo sobre la medida de la AV binocular, a una distancia de 6 metros respecto la pantalla. Los resultados que obtenemos son:

En lo que concierne a la iluminación ambiental, obtenemos medidas de AV mayores para la condición de iluminación máxima ($\bar{x}=1,36$) respecto las obtenidas para la condición de iluminación mínima ($\bar{x}=1,21$). Al aplicarle a nuestros datos la prueba estadística ANOVA, encontramos un valor $p<0.001$, lo que nos indica que sí existe una significancia estadística de nuestros datos, con lo cual rechazamos nuestra hipótesis alternativa y aceptamos la nula. Por lo tanto, podemos afirmar que hay evidencias suficientes para considerar que la medida de la AV está condicionada por la iluminación ambiental. No obstante, la variación de la medida no parece ser demasiado crítica, es de sólo 0,147 al pasar de la condición de iluminación ambiental máxima a la mínima. Entendemos que esta variación viene dada por la disminución de aberraciones ópticas y la mejora en la profundidad de foco que proporciona la miosis pupilar.

En definitiva, según los resultados en el presente estudio encontramos que la iluminación ambiental condiciona la medida de la AV, pero no de forma decisiva a nivel clínico, lo que es comprensible que no haya recomendado un valor de iluminación ambiental concreto en la normativa para realizar la medida.

En cuanto al contraste, encontramos mejores medidas de AV con valores de contraste elevados (AV media de 1.49, 1.39, 1.3 y 0.96 para contrastes de 1, 0.75, 0.50 y 0.25 respectivamente). Como con la variable iluminación de fondo, aplicamos una ANOVA obteniendo un valor $p<0.001$ y acabamos concluyendo que la medida de la AV está condicionada por el contraste de los optotipos, descartando la hipótesis alternativa y aceptando la nula. A diferencia de la iluminación ambiental, el contraste condiciona la medida de AV de forma mucho más significativa, la variación de la medida es de 0.53 entre los contrastes 0,25 y 1 (pasa de una AV de 1.49 a 0.96). Nuestros resultados indican una disminución crítica de la medida de la AV cuando la C de Landolt tiene un contraste de 0.50 o menor (la variación de la medida respecto $C=0.25$ es 0.345 y respecto $C=1$ de tan solo 0.181).

En conclusión, encontramos que el contraste influye en la medida de la AV de forma mucho más significativa que la iluminación ambiental. La medida queda condicionada de forma crucial a niveles bajos/medios de contraste donde la variación es de 0.43 al pasar de un contraste de 0.25 a uno de 0.75. Para contrastes a partir de 0.75, la variación de AV respecto $C=1$ es de tan solo 0.096 y por lo tanto, entendemos que en la normativa se deje un cierto margen en cuanto al nivel de contraste (establece que el nivel mínimo ha de ser 0.9).

En cuanto a la luminancia de fondo, encontramos un aumento de la medida de la AV al incrementar el nivel de L_{fondo} (AV media de 1.18, 1.28 y 1.39 para luminancias de fondo de 40, 80 y 170 cd/m^2 respectivamente). Al aplicar una ANOVA a nuestros resultados obtenemos un valor $p < 0.001$ y, por lo tanto, concluimos que la medida de la AV está condicionada por la luminancia de fondo, descartando la hipótesis alternativa y aceptando, una vez más, la nula. Vemos que para esta variable, al pasar de una L_{fondo} baja a una media (de 40 a 80 cd/m^2) tenemos una variación de la medida de AV de 0.096 mientras que al pasar de una media a una elevada (de 80 a 170 cd/m^2) la variación de la medida es muy similar (de 0.117) pese que en la primera comparación hay 40 cd/m^2 de diferencia y en la segunda 90, indicando que la medida de la AV está condicionada de forma más significativa para luminancias de fondo de nivel bajo.

Por lo tanto, podemos concluir que la luminancia de fondo es un factor a tener en cuenta en la práctica clínica de la medida de AV, ya que para valores bajos puede influenciar de forma significativa en dicha medida. La normativa establece que la luminancia de la carta de optotipos ha de ser como mínimo de 120 cd/m^2 ⁵BS 4274-1:2003, dato que concuerda con nuestros resultados ya que para valores inferiores hemos obtenido variaciones mucho más significativas en la medida de la AV que para valores superiores.

En cuanto a la variación de la luminancia de fondo manteniendo los niveles de contraste fijos, obtenemos un incremento de la medida de la AV al aumentar la luminancia de fondo para todos los niveles de contraste. Para los contrastes 1, 0.75 y 0.50 encontramos que el incremento es siempre superior al pasar de una luminancia de fondo baja a media comparado con el incremento obtenido al pasar de una media a alta y, además, la diferencia entre estos incrementos parece ir reduciéndose conforme se disminuye el contraste. Sin embargo, para el contraste 0.25 obtenemos que el incremento de AV es relativamente muy elevado al pasar de una luminancia de fondo media a alta (incrementa la AV en 0.19). Este fenómeno puede ser indicativo de que, para niveles de contrastes reducidos, una luminancia de fondo elevada juega un rol decisivo en la visión del observador, ayudándole en la determinación de la orientación de la C de Landolt.

Durante la realización del estudio hemos detectado que, en general, se han obtenido unos resultados de AV un tanto elevados. Este fenómeno puede ser debido a varios factores, o a la suma de varios de ellos:

1. La gran mayoría de la muestra (13 de 14) son observadores muy jóvenes (de entre 17 y 24 años). Sabemos que la edad es un factor fisiológico que condiciona la AV.
2. Se han realizado las pruebas del estudio de forma binocular. Sabemos que en estas condiciones la medida es entre el 5 y el 10% superior que de forma monocular.
3. La prueba consiste en un optotipo aislado y, por lo tanto, entra en juego el Crowding effect.

4. Efecto aprendizaje. Aunque el estudio intenta evitar la alteración de los resultados por este efecto mediante la realización de una medida de AV a modo de ejemplo antes de empezar la prueba, es posible que intervenga en cierta medida este factor ya que es una prueba muy repetitiva en la que se realizan 23 medidas.
5. Uso del método descendiente como método de medida. Al mantener un alto nivel de concentración sobre un único optotipo, es posible que este método de medida haya influenciado en los resultados, ya que se realizan las medidas mediante pequeños cambios en la C de Landolt.

A modo de conclusión final, queremos recordar que la AV es una capacidad propia de cada individuo que tiene un valor fijo, determinado por factores propios tales como la densidad de los fotorreceptores, la edad, el buen funcionamiento neuronal, etc. Su medida, sin embargo, no tiene un valor único y verdadero, ya que depende de muchos factores y de muy diversa índole, determinando en cada medida un valor de AV bajo unas condiciones físicas, fisiológicas y psicológicas concretas. Muchos de estos factores físicos, están relacionados con las condiciones fotométricas del gabinete optométrico donde se realiza la medida y de la carta de optotipos, por lo tanto, y basándonos en los resultados obtenidos en el estudio, deberemos tener en cuenta durante la práctica clínica que pueden existir variaciones en la medida de la AV tan sólo por haberse tomado esas medidas en gabinetes distintos, los cuales no sabemos bajo qué condiciones se realizó la medida.

ESTUDIOS FUTUROS

Una vez hemos acabado el estudio, en este apartado se pretende realizar una crítica constructiva que proponga cuestiones a mejorar para estudios posteriores a este. Al ser un trabajo propuesto y que no es continuación de uno anterior, se abren varias líneas de trabajo futuro:

En cuanto al diseño de la prueba optométrica, se propone la realización del mismo estudio empleando un diferente método de medida. Creemos que el uso del método descendiente ha podido influir en los resultados de AV, obteniendo unos valores un tanto elevados. Por lo tanto, sería interesante contrastar los resultados con los obtenidos con otro método, por ejemplo, el aleatorio.

En cuanto al diseño del programa "CLandolt", se propone una mejora en la interfaz que ayude a encontrar el nivel de gris en las escalas de manera más rápida (numerando ambas escalas del 1 al 16, por ejemplo).

También recomendamos la realización del estudio con una pantalla de mejor resolución, para unos resultados más fiables de las AV a partir de 1.4.

Además, sugerimos la inclusión de la medida del diámetro pupilar del paciente en el estudio, ya que consideramos que es una variable más que puede ser interesante de analizar.

Otra posible opción sería la realización del estudio para la visión monocular.

Por último, planteamos un estudio de valores de medida en gabinetes reales, tomando medidas de iluminación ambiental que se emplea en cada uno de ellos a la hora de medir la AV de sus pacientes.

IMPLICACIONES ÉTICAS, LEGALES Y DE PROTECCIÓN DE DATOS

En la realización de este estudio se ha seguido la “Ley orgánica 15/1999, del 13 de diciembre, de Protección de datos de carácter personal”, de forma que los datos personales que se han tomado han quedado bajo custodia y se han utilizado únicamente con finalidades estadísticas y científicas.

Así mismo, la participación en el estudio era de carácter voluntario y se informó previamente a cada uno de los participantes sobre las características y finalidades de las medidas.

BIBLIOGRAFIA

REFERÈNCIAS

¹Theodore P Grosvenor. *“Optometría de atención primaria”* 2004.

²Robert F Hess, Steven C Dakin, Neil Kapoor. *“The foveal ‘crowding’ effect: physics or physiology?”* 2000.

³María Sagrario Millán, Jaume Escofet, Elisabet Pérez. *“Óptica geométrica”*. 2003.

⁴César Urtubia Vicario. *“Neurobiología de la visión”* 1996.

Jens Bühren, MD, Evdoxia Terzi, MD, Michael Bach, PhD, Wolfgang Wesemann, PhD, Thomas Kohnen, MD. *“Measuring contrast sensitivity under different lighting conditions: comparison of three test”*. 2006.

S.A. Comastri, R. Echarri, E. Colombo, L. Issolio. *“Relación entre iluminación ambiente, tamaño pupilar y agudeza visual”*. 2004.

Adelina Felipe Marcet. Óptica Fisiológica. Tema III: La calidad de la imagen: agudeza visual.

⁵BS 4274-1:2003 <http://media.axon.es/pdf/80824.pdf>

<http://pdfsr.com/pdf/bs-4274-1-2003>

FIGURAS

Figura 1. Interfaz del programa CLandolt.

Figura 2. Medida de s y $5s$ de la C de Landolt

Figura 3. Ejemplo del método empleado para el conteo de píxeles que forman los optotipos.

GRAFICAS

Gráfica 1. Curvas de adaptación a la oscuridad en conos y en bastones. César Urtubia Vicario. “Neurobiología de la visión” 1996.

Gráfica 2. Variación del nivel de luminancia respecto el nivel de gris.

Gráfica 3. Variación de la AV respecto la condición de iluminación ambiental.

Gràfica 4. Intervalo de confianza por el método de Tukey. Diferencias de las medias para AV respecto la condición de iluminación ambiental.

Gràfica 5. Variación de la AV respecto al contraste.

Gràfica 6. Intervalos de confianza por el método Tukey. Diferencias de las medias para AV respecto el contraste de los optotipos.

Gràfica 7. Variación de la AV respecto a la luminancia de fondo.

Gràfica 8. Intervalos de confianza por el método Tukey. Diferencias de las medias para AV respecto la luminancia de fondo de los optotipos.

Gràfica 9. Gràfica de interacción de dos factores (luminancia y contraste) para AV.

TABLAS

Tabla 1. Condiciones lumínicas a las que se realizaron las pruebas a los observadores

Tabla 2. Medida de 5s (en mm) de cada uno de los optotipos que forman el rango de AV comprendido entre 0,1 y 2.

Tabla 3. Número de píxeles que constituyen cada uno de los optotipos que forman el rango de AV comprendido entre 0,1 y 2.

Tabla 4. Valores del cálculo del tamaño de 1 píxel a partir de las medidas del tamaño y el número de píxeles en 5s.

Tabla 5. Valores calculados del número de píxeles en S.

Tabla 6. Valores del cálculo del tamaño real de S (en mm).

Tabla 7. Valores del cálculo de la AV real de los optotipos.

Tabla 8. Valores de la luminancia de cada uno de los niveles de gris medidos para las dos condiciones de iluminación ambiental.

Tabla 9. Diferencia de luminancias entre la condición de iluminación A y B.

Tabla 10. Valores de todos los contrastes posibles con polaridad positiva para la condición de iluminación A.

Tabla 11. Valores de todos los contrastes posibles con polaridad positiva para la condición de iluminación B.

Tabla 12. Rutina empleada durante el estudio para cada sesión experimental.

Tabla 13. Resultados de las medidas para la condición de iluminación A.

Tabla 14. Resultados de las medidas para la condición de iluminación B.

Tabla 15. Resultados de aplicar una ANOVA de modelo lineal general sobre los resultados de nuestro estudio.

Tabla 16. AV media para las dos condiciones de iluminación empleadas durante el estudio.

Tabla 17. AV media obtenida para cada nivel de contraste.

Tabla 18. Diferencia de medias de AV respecto la diferencia de contrastes.

Tabla 19. AV media obtenida para cada nivel luminancia de fondo.

Tabla 20. Diferencia de medias de AV respecto la diferencia de luminancias de fondo.

Tabla 21. Valores de AV media respecto diferentes luminancias de fondo para cada nivel de contraste

Tabla 22. Valores de AV media respecto diferentes luminancias de fondo para un nivel de contraste fijo.

Tabla 23. Incremento de la AV al cambiar el nivel de luminancia (alto, medio y bajo) para un nivel de contraste fijo.

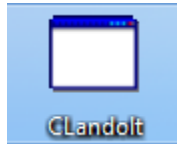
Tabla 24. AV media de cada observador.

ANEXOS

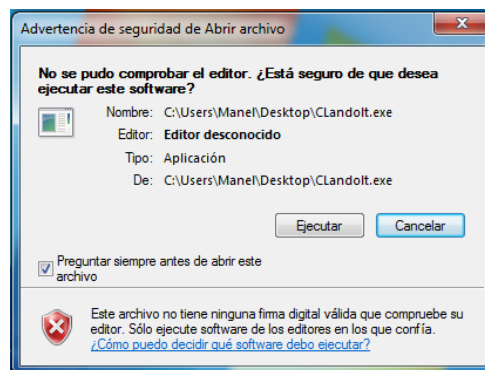
ANEXO A: INSTRUCCIONES DE USO DEL PROGRAMA CLANDOLT

Ejecución del programa

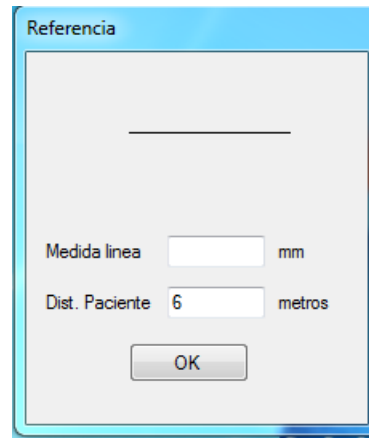
1. En primer lugar hacemos doble clic en el icono del programa CLandolt



2. Automáticamente nos aparecerá la siguiente ventana, para continuar deberemos pulsar ejecutar.



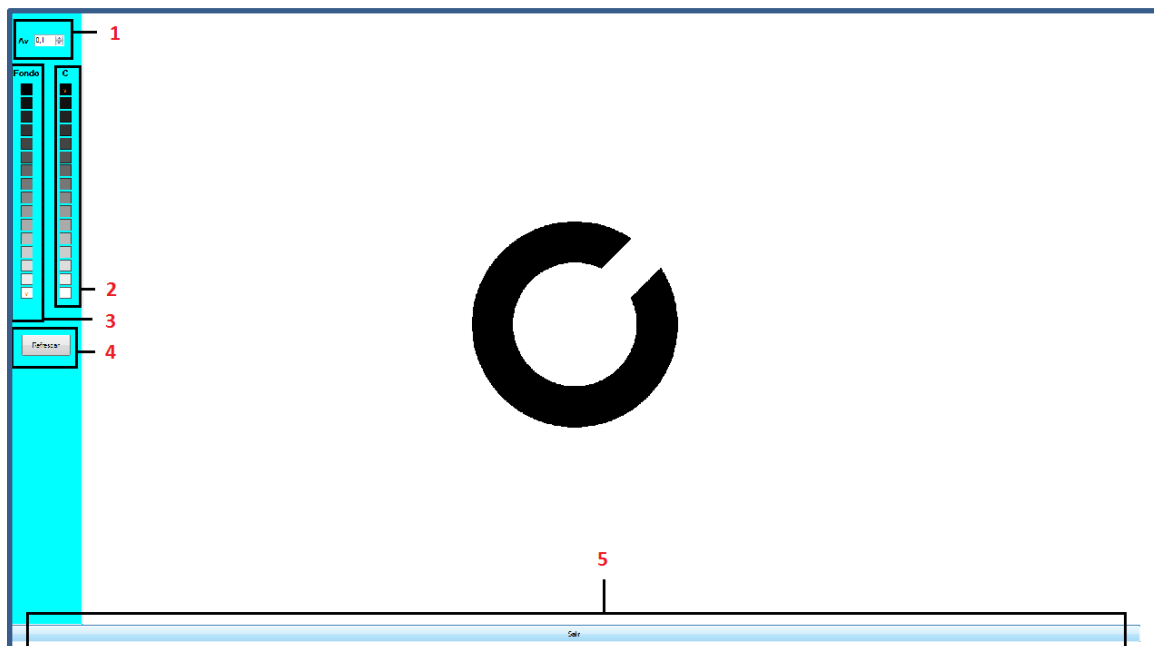
3. Seguidamente nos aparecerá una ventana con el título "Referencia". En ella deberemos medir con una regla la longitud de la línea que nos aparece e introducirla en el recuadro "medida línea". Después introduciremos justo debajo la distancia del paciente respecto la pantalla en metros.



De esta forma el programa se calibrará automáticamente a la resolución de la pantalla y a la distancia del observador, para más adelante generar optotipos de las AV deseadas.

4. Una vez calibrado, el programa se abrirá en modo pantalla completa listo para su uso.

Instrucciones de uso



Esta es la interfaz del programa una vez ejecutado, el optotipo siempre estará centrado en la pantalla y tendremos una serie de controladores, enumerados en la imagen del 1 al 5.

1. Controlador de la AV. Podremos modificar el tamaño del optotipo utilizando las flechas de este controlador (hacia arriba si queremos generar un optotipo que corresponda a una AV mayor y hacia abajo para el caso contrario).
2. Escala de grises del optotipo. Tenemos 16 casillas ordenadas de forma vertical, de máximo nivel de gris (negro) a mínimo (blanco). Al clicar sobre una de estas casillas, el nivel de gris del optotipo se volverá automáticamente igual que el del relleno de la casilla seleccionada.
3. Escala de grises del fondo. Su funcionamiento es exactamente igual al anterior solo que éste controlador modifica el fondo.
4. Botón refrescar. Lo utilizaremos para volver a generar el optotipo con los mismos valores de contraste, luminancias y AV, pero con otra dirección aleatoria (puede darse el caso que se repita la misma dirección al azar, en tal caso se tendrá que volver a pulsar el controlador).
5. Botón salida. Una vez finalizada la prueba, haremos clic aquí para cerrar el programa.

ANEXO B: PLANTILLA RESULTADOS

NOMBRE:

EDAD:

GRUPO:

LUZ ENCENDIDA

LUMINANCIA DE FONDO	LUMINANCIA TEST	CONTRASTE	AV
7	4	0.67	
7	5	0.48	
7	6	0.24	
10	1	0.99	
10	5	0.74	
10	7	0.50	
10	9	0.22	
16	1	1	
16	8	0.78	
16	11	0.56	
16	14	0.23	

LUZ APAGADA

LUMINANCIA DE FONDO	LUMINANCIA TEST	CONTRASTE	AV
7	1	0.71	
7	4	0.46	
7	6	0.17	
10	1	0.83	
10	3	0.75	
10	6	0.51	
10	9	0.18	
16	1	0.93	
16	7	0.75	
16	11	0.50	
16	14	0.20	

ANEXO C: DATOS ANALIZADOS CON MINITAB

OBS	GRUPO	ILUMINACIÓN AMBIENTAL	CONTRASTE	Luminancia de fondo	AV
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,3
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,3
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	1,2
Obs1	A	LLUMS ENCESES	1	80	1,8
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,6
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,7
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	0,8
Obs1	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,7
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,6
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,6
Obs1	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,3
Obs1	A	LUMS APAGADES	1	40	1,2
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,75	40	1,2
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,5	40	1
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,6
Obs1	A	LUMS APAGADES	1	80	1,5
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1,2
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,5	80	1,2
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,7
Obs1	A	LUMS APAGADES	1	170	1,5
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1,4
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,5	170	1,5
Obs1	A	LUMS APAGADES	0,25	170	1,2
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,6
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,4
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	1
Obs8	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,7
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,7
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,5
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	1,2
Obs8	B	LLUMS ENCESES	1	170	2
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,9
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,7
Obs8	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,5
Obs8	B	LUMS APAGADES	1	40	1,3
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,75	40	1
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,5	40	1,5
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,25	40	1

Obs8	B	LUMS APAGADES	1	80	1,6
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,75	80	1,8
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,5	80	1,5
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,25	80	1,2
Obs8	B	LUMS APAGADES	1	170	1,9
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,75	170	1,8
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,5	170	1,3
Obs8	B	LUMS APAGADES	0,25	170	1,2
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,3
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,1
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	0,9
Obs2	A	LLUMS ENCESES	1	80	1,5
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,2
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,4
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	0,8
Obs2	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,4
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,3
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,5
Obs2	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,1
Obs2	A	LUMS APAGADES	1	40	1,1
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,75	40	1
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,5	40	1
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,7
Obs2	A	LUMS APAGADES	1	80	1,4
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1,3
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,5	80	0,9
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,8
Obs2	A	LUMS APAGADES	1	170	1,5
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1,4
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,5	170	1,3
Obs2	A	LUMS APAGADES	0,25	170	1,1
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,5
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,3
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	1
Obs9	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,6
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,7
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,6
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	1,2
Obs9	B	LLUMS ENCESES	1	170	1,9
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,9
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,8
Obs9	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,5

Obs9	B	LUMS APAGADES	1	40	1,3
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,75	40	1,3
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,5	40	1,1
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,25	40	1
Obs9	B	LUMS APAGADES	1	80	1,7
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,75	80	1,6
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,5	80	1,3
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,25	80	1,1
Obs9	B	LUMS APAGADES	1	170	2
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,75	170	2
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,5	170	2
Obs9	B	LUMS APAGADES	0,25	170	1,5
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,1
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	1
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	0,8
Obs3	A	LLUMS ENCESES	1	80	1,5
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,3
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,3
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	0,7
Obs3	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,3
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,6
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,3
Obs3	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	1
Obs3	A	LUMS APAGADES	1	40	1
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,75	40	1,1
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,5	40	0,9
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,6
Obs3	A	LUMS APAGADES	1	80	0,9
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1,2
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,5	80	0,9
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,7
Obs3	A	LUMS APAGADES	1	170	1,1
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,5	170	0,9
Obs3	A	LUMS APAGADES	0,25	170	0,6
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	0,9
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	1
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	0,6
Obs10	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,2
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,2
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,1
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	0,7

Obs10	B	LLUMS ENCESES	1	170	1,5
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,3
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,4
Obs10	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	0,9
Obs10	B	LUMS APAGADES	1	40	0,8
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,75	40	0,9
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,5	40	0,8
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,25	40	0,6
Obs10	B	LUMS APAGADES	1	80	0,8
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,75	80	0,7
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,5	80	0,8
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,25	80	0,5
Obs10	B	LUMS APAGADES	1	170	1,1
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,75	170	1,1
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,5	170	1
Obs10	B	LUMS APAGADES	0,25	170	0,7
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,5
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,2
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	0,6
Obs4	A	LLUMS ENCESES	1	80	1,5
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,2
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,1
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	1
Obs4	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,6
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,5
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,3
Obs4	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,1
Obs4	A	LUMS APAGADES	1	40	1,3
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,75	40	1,4
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,5	40	1,1
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,7
Obs4	A	LUMS APAGADES	1	80	1,5
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1,4
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,5	80	1,2
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,8
Obs4	A	LUMS APAGADES	1	170	1,6
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1,4
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,5	170	1,2
Obs4	A	LUMS APAGADES	0,25	170	1,1
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,5
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,5
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	1

Obs11	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,5
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,5
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,4
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	1
Obs11	B	LLUMS ENCESES	1	170	1,6
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,6
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,5
Obs11	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,4
Obs11	B	LUMS APAGADES	1	40	1,4
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,75	40	1,3
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,5	40	1,2
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,25	40	0,9
Obs11	B	LUMS APAGADES	1	80	1,5
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,75	80	1,2
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,5	80	1,1
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,25	80	0,8
Obs11	B	LUMS APAGADES	1	170	1,6
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,75	170	1,4
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,5	170	1,3
Obs11	B	LUMS APAGADES	0,25	170	0,9
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,2
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	1
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	0,7
Obs5	A	LLUMS ENCESES	1	80	1,6
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,4
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,3
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	0,8
Obs5	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,6
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,5
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,4
Obs5	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	1
Obs5	A	LUMS APAGADES	1	40	1,4
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,75	40	1,3
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,5	40	1,3
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,8
Obs5	A	LUMS APAGADES	1	80	1,8
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1,6
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,5	80	1,5
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,8
Obs5	A	LUMS APAGADES	1	170	1,6
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1,3
Obs5	A	LUMS APAGADES	0,5	170	1,3

Obs5	A	LUMS APAGADES	0,25	170	0,8
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,5
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,5
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	1
Obs12	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,7
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,7
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,6
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	1,1
Obs12	B	LLUMS ENCESES	1	170	1,8
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,8
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,7
Obs12	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,1
Obs12	B	LUMS APAGADES	1	40	1,4
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,75	40	1,3
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,5	40	1,1
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,25	40	0,9
Obs12	B	LUMS APAGADES	1	80	1,5
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,75	80	1,4
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,5	80	1,2
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,25	80	0,9
Obs12	B	LUMS APAGADES	1	170	1,7
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,75	170	1,4
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,5	170	1,3
Obs12	B	LUMS APAGADES	0,25	170	1,1
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,5
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,5
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	1,3
Obs6	A	LLUMS ENCESES	1	80	1,7
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,3
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,6
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	1,1
Obs6	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,8
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,3
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	0,9
Obs6	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,3
Obs6	A	LUMS APAGADES	1	40	1,6
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,75	40	1,3
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,5	40	1,3
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,8
Obs6	A	LUMS APAGADES	1	80	1,7
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1,5
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,5	80	1,3

Obs6	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,9
Obs6	A	LUMS APAGADES	1	170	1,7
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1,5
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,5	170	1,3
Obs6	A	LUMS APAGADES	0,25	170	1
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,9
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	2,5
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	1,4
Obs13	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,8
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,9
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	2
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	1,4
Obs13	B	LLUMS ENCESES	1	170	2
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	2
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	2
Obs13	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	1,6
Obs13	B	LUMS APAGADES	1	40	1,8
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,75	40	1,7
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,5	40	1,6
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,25	40	1,2
Obs13	B	LUMS APAGADES	1	80	1,8
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,75	80	1,8
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,5	80	1,6
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,25	80	1
Obs13	B	LUMS APAGADES	1	170	2
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,75	170	1,8
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,5	170	1,8
Obs13	B	LUMS APAGADES	0,25	170	1,2
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,75	40	0,7
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,5	40	0,8
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,25	40	0,5
Obs7	A	LLUMS ENCESES	1	80	0,9
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,75	80	1
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,5	80	0,8
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,25	80	0,6
Obs7	A	LLUMS ENCESES	1	170	1,3
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,2
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,5	170	1
Obs7	A	LLUMS ENCESES	0,2	170	0,9
Obs7	A	LUMS APAGADES	1	40	0,9
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,75	40	0,9
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,5	40	0,9

Obs7	A	LUMS APAGADES	0,25	40	0,6
Obs7	A	LUMS APAGADES	1	80	1,2
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,75	80	1
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,5	80	0,9
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,25	80	0,6
Obs7	A	LUMS APAGADES	1	170	1
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,75	170	1
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,5	170	0,8
Obs7	A	LUMS APAGADES	0,25	170	0,6
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,75	40	1,3
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,5	40	1,3
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,25	40	1,1
Obs14	B	LLUMS ENCESES	1	80	1,5
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,75	80	1,4
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,5	80	1,6
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,25	80	1,2
Obs14	B	LLUMS ENCESES	1	170	1,6
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,75	170	1,5
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,5	170	1,4
Obs14	B	LLUMS ENCESES	0,2	170	1
Obs14	B	LUMS APAGADES	1	40	1,2
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,75	40	1,1
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,5	40	1,1
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,25	40	0,9
Obs14	B	LUMS APAGADES	1	80	1,4
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,75	80	1,4
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,5	80	1,2
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,25	80	1,1
Obs14	B	LUMS APAGADES	1	170	1,5
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,75	170	1,4
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,5	170	1,2
Obs14	B	LUMS APAGADES	0,25	170	1